

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE AGRONOMÍA



TESIS DE GRADO

**“VALIDACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE
PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA DE RIEGO”**

ANDREA LUISA GUTIERREZ FLORES

La Paz – Bolivia

2022

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“VALIDACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA LA DETERMINACIÓN DE
PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA DE RIEGO”**

*Tesis de Grado presentado para optar
el título de Ingeniero Agrónomo*

Presentado por:

ANDREA LUISA GUTIERREZ FLORES

ASESORES:

Ing. Ph. D. Roberto Miranda Casas

Ing. Ph. D. René Chipana Rivera

REVISORES:

Ing. M. Sc. Genaro Serrano Coronel

Ing. Rolando Céspedes Paredes

Ing. M. Sc. Willy Marco Flores Mancilla

Aprobada

Presidente tribunal examinador

LA PAZ-BOLIVIA

2022

DEDICATORIA

Con todo mi amor dedico esta tesis a mi padres, que por todo su esfuerzo, dedicación, cariño, preocupación y sacrificio diario, son también dignos merecedores de todos mis logros...

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme el apoyo espiritual, la sabiduría las fuerzas de seguir adelante... Gracias a mis padres por su apoyo incondicional que me dieron día a día y a mis hermanos.

Agradecer al Laboratorio LAFASA por brindarme su apoyo, la oportunidad de desempeñar mi trabajo de investigación y así crecer como profesional, Agradezco a mi asesor Ing.Ph.D. Roberto Miranda Casas por su apoyo y la oportunidad que me brindo, por su tiempo, por su paciencia y sus consejos, agradezco a la Ing. Elizabeth Yujra Ticona por su enseñanza, su paciencia y consejos.

Y finalmente agradezco a la persona especial que llego a mi vida que estuvo ahí para mí en los momentos buenos y malos, mi confidente mi amigo, con el que comencé este especial camino el Ing. Alex Brandon Mendoza Condorí y al equipo LAFASA a mis amigos Ing. Yovana, Ing. Jhoselín, Ing. Marlene, Ing. Alejandro y Ing. Antonio, gracias por acompañarme y ayudarme...

CONTENIDO GENERAL

1. INTRODUCCION _____	1
1.1 Antecedentes _____	2
1.2 Justificación _____	2
1.3 Objetivos _____	2
1.3.1 Objetivo General _____	2
1.3.2 Objetivo Especifico _____	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA _____	4
2.1 El agua _____	4
2.2 Composición del agua. _____	4
2.2.1 Tipo de agua _____	5
2.2.1.1 Agua Natural _____	5
2.2.1.2 Agua Residual _____	5
2.2.1.3 Agua de consumo _____	5
2.2.2 Clases de Agua _____	6
2.3 Agua de riego _____	6
2.3.1 Calidad de agua para riego _____	7
2.3.2 Calidad de las fuentes de agua superficial _____	7
2.3.3 Efectos sobre las propiedades del suelo _____	8
2.4 Indicadores de calidad de agua de riego _____	8
2.5 Norma internacional ISO/IEC 17025 _____	9
2.5.1 Norma Boliviana NB-ISO-IEC 17025 _____	9
2.5.2 Control de Registros _____	10
2.5.3 Requisitos Técnicos _____	10
2.5.3.1 Factores humanos _____	10
2.5.3.2 Instalaciones y condiciones ambientales _____	11
2.5.3.3 Métodos de ensayo calibración y validación de las metodologías _____	11
2.5.3.4 Selección de los métodos _____	12
2.5.3.5 Validación de los métodos _____	12
2.5.3.6 Métodos estándar o normalizados _____	12
2.5.3.7 Métodos desarrollados por el laboratorio _____	12
2.5.3.8 Control de datos _____	13
2.5.3.9 Muestreo _____	13
2.6 Normas para la clasificación del agua de riego _____	14
2.6.1 Norma H. Greene (F.A.O.) _____	14
2.6.2 Norma Riverside _____	14
2.6.3 Norma L.V. Wilcox _____	16
2.7 Clasificación de los parámetros de la calidad del agua _____	16

2.7.1	Parámetros químicos de la calidad del agua _____	16
2.7.2	Parámetros microbiológicos de la calidad del agua _____	17
2.7.3	Parámetros Físicos de la calidad del agua _____	17
2.7.3.1	Solidos _____	19
2.7.3.2	Solidos Totales _____	20
2.7.3.3	Solidos Suspendidos Totales _____	20
2.7.3.4	Solidos Disueltos Totales _____	21
2.8	Validación de Métodos Analíticos _____	22
2.8.1	Material de Referencia Certificado (MRC) _____	23
2.9	Parámetros de Validación _____	23
2.9.1	Linealidad _____	23
2.9.2	Exactitud _____	24
2.9.3	Sesgo _____	25
2.9.4	Precisión _____	26
2.9.5	Incertidumbre _____	27
3.	MATERIALES Y METODOS _____	28
3.1	Localización _____	28
3.2	Materiales _____	30
3.2.1	Material de Laboratorio y Reactivos _____	30
3.2.2	Material de gabinete _____	30
3.3	Metodología _____	31
3.3.1	Evaluar los parámetros de validación _____	31
3.3.1.1	Preparación del Material de Referencia (MR) _____	31
3.3.1.2	Procedimiento de los Métodos _____	31
3.3.1.2.1	Determinación de Solidos Totales _____	31
3.3.1.2.2	Determinación de Solidos Suspendidos Totales _____	32
3.3.1.2.3	Determinación de Solidos Disueltos Totales _____	32
3.3.2	Muestreo de Aguas para Riego _____	33
3.3.3	Validación _____	34
3.3.3.1	Determinación de la linealidad del sistema _____	34
3.3.3.2	Exactitud _____	36
3.3.3.3	Precisión _____	37
3.3.3.4	Incertidumbre _____	38
3.3.3.4.1	Cálculo de la Incertidumbre del Material de porcelana o filtro _____	38
3.3.3.4.2	Cálculo de la Incertidumbre del Material Volumétrico _____	40
3.3.3.4.3	Cálculo de la Incertidumbre de la Estufa _____	41
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN _____	44
4.1	Validación del Método de Solidos Totales (ST) _____	44
4.1.1	Determinación de la linealidad del sistema (ST) _____	44

4.1.2	Exactitud (ST)	46
4.1.3	Precisión (ST)	47
4.1.4	Incertidumbre (ST)	48
4.2	Validación del Método de Solidos Suspendidos Totales (SST)	53
4.2.1	Determinación de la linealidad del sistema (SST)	53
4.2.2	Exactitud (SST)	56
4.2.2.1	Veracidad	56
4.2.2.2	Sesgo	57
4.2.3	Precisión (SST)	57
4.2.4	Incertidumbre (SST)	59
4.3	Validación del Método de Solidos Disueltos Totales (SDT)	63
4.3.1	Estimación de la Exactitud del sistema (SDT)	63
4.3.1.1	Veracidad	63
4.3.1.2	Sesgo	64
4.3.2	Precisión (SDT)	65
4.3.3	Incertidumbre (SDT)	66
4.3.3.1	Estimación de la incertidumbre en base a datos de validación	67
4.4	Análisis de las muestras de agua de riego para diferentes localizaciones	71
4.5	Análisis económico de los Solidos	72
4.5.1	Solidos Totales	72
4.5.2	Solidos Suspendidos Totales	73
4.5.3	Solidos Disueltos Totales	74
5.	CONCLUSIONES	75
6.	RECOMENDACIONES	77
7.	BIBLIOGRAFÍA	78
8.	ANEXOS	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego _____	14
Figura 2. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Según USDA) _____	15
Figura 3. Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego. _____	16
Figura 4. Composición de los Sólidos en Aguas. _____	20
Figura 5. Clasificación de los Sólidos según las Partículas _____	22
Figura 6. Linealidad _____	24
Figura 7. Exactitud _____	25
Figura 8. Componente del Sesgo _____	26
Figura 9. Mapa de Localización de los sitios de muestreo de agua riego, en la ciudad de La Paz _____	29
Figura 10. Evaluación de los valores experimentales método de Solidos Totales _____	44
Figura 11. Linealidad del sistema método Solidos Totales _____	45
Figura 12. Evaluación de la Veracidad del sistema de Solidos Totales _____	47
Figura 13. Control de HorRat del método de Solidos Totales _____	48
Figura 14. Diagrama de Ishikawa para el cálculo de la incertidumbre del método de Solidos Totales _____	49
Figura 15. Fuentes de Incertidumbre del método de Solidos Totales _____	53
Figura 16. Evaluación de los valores experimentales método de Solidos Suspendidos Totales _____	54
Figura 17. Linealidad del sistema método Solidos Suspendidos Totales _____	55
Figura 18. Evaluación de la Veracidad del sistema de Solidos Suspendidos Totales _____	56
Figura 19. Control de HorRat del método de Solidos Suspendidos Totales _____	58
Figura 20. Diagrama de Ishikawa para el cálculo de la incertidumbre del método de Solidos Suspendidos Totales _____	59
Figura 21. Fuentes de Incertidumbre del método Solidos Suspendidos Totales _____	63
Figura 22. Evaluación de la Veracidad del sistema Solidos Disueltos Totales _____	64
Figura 23. Control de HorRat del método de Solidos Disueltos Totales _____	66
Figura 24. Diagrama de Ishikawa para el cálculo de la incertidumbre del método de Solidos Disueltos Totales _____	67
Figura 25. Fuentes de Incertidumbre del método Solidos Disueltos Totales _____	¡Error!

Marcador no definido.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Determinación de laboratorio necesarias para evaluación del agua de riego (Adaptado de Ayers & Westcot, 1985) _____	18
Tabla 2. Clasificación de Sólidos _____	19
Tabla 3. Parámetros de acuerdo a la metodología de análisis _____	23
Tabla 4. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (Agua) _____	28
Tabla 5. Materiales de Laboratorio _____	30
Tabla 6. Valores experimentales de Sólidos Totales _____	45
Tabla 7. Resumen de los resultados estadísticos de la linealidad del sistema de Sólidos Totales _____	46
Tabla 8. Resumen del Criterio de Aceptación de HorRat de Sólidos Totales _____	47
Tabla 9. Incertidumbre del Material de Porcelana _____	49
Tabla 10. Incertidumbre del Balón Aforado de 1000 (ml) _____	50
Tabla 11. Incertidumbre de la Probeta de 1000 (ml) _____	50
Tabla 12. Incertidumbre de la Probeta de 50 (ml) _____	51
Tabla 13. Incertidumbre de la Estufa _____	51
Tabla 14. Incertidumbre combinada del método de Sólidos Totales _____	52
Tabla 15. Incertidumbre expandida del método Sólidos Totales _____	52
Tabla 16. Valores experimentales de Sólidos Suspendidos Totales _____	54
Tabla 17. Resumen de los resultados estadísticos de la linealidad del sistema de Sólidos Suspendidos Totales _____	55
Tabla 18. Sesgo del Material de Referencia Certificado _____	57
Tabla 19. Resumen del Criterio de Aceptación de HorRat de Sólidos Suspendidos Totales _____	58
Tabla 20. Incertidumbre de Filtros de Fibra de Vidrio _____	60
Tabla 21. Incertidumbre del Balón Aforado de 1000 (ml) _____	60
Tabla 22. Incertidumbre de la Probeta de 1000 (ml) _____	61
Tabla 23. Incertidumbre de la Probeta de 100 (ml) _____	61
Tabla 24. Incertidumbre de la Estufa _____	61
Tabla 25. Incertidumbre combinada del método de Sólidos Suspendidos Totales _____	62
Tabla 26. Incertidumbre expandida del método Sólidos Suspendidos Totales _____	62
Tabla 27. Sesgo del Material de Referencia Certificado _____	64
Tabla 28. Resumen del Criterio de Aceptación de HorRat de Sólidos Disueltos Totales _____	65
Tabla 29. Incertidumbre del Vaso Precipitado _____	67
Tabla 30. Incertidumbre del Balón Aforado de 1000 (ml) _____	68
Tabla 31. Incertidumbre de la Probeta de 100 (ml) _____	68
Tabla 32. Incertidumbre de la Estufa _____	69
Tabla 33. Incertidumbre combinada del método de Sólidos Disueltos Totales _____	69
Tabla 34. Incertidumbre expandida del método Sólidos Disueltos Totales _____	70

Tabla 35. Análisis de las muestras de agua de riego empleando los metodos de ST, SST y SDT _____	71
Tabla 36. Costos del Método de Solidos Totales _____	72
Tabla 37. Costos del Método de Solidos Suspendidos Totales _____	73
Tabla 38. Costos del Método de Solidos Disuelto Totales _____	74

ANEXOS

Anexo 1. Datos para la Evaluación del Test de GRUBB para Solidos Totales _____	82
Anexo 2. Datos para Evaluación del Test de GRUBB para Solidos Suspendidos Totales _____	82
Anexo 3. Datos Experimentales para Linealidad de Solidos Totales _____	83
Anexo 4. Datos Experimentales para Linealidad de Solidos Totales Suspendidos _____	83
Anexo 5. Datos Experimentales de Veracidad de Solidos Totales _____	84
Anexo 6. Datos Experimentales de Veracidad de Solidos Totales Suspendidos _____	84
Anexo 7. Datos Experimentales de Veracidad de Solidos Totales Disueltos _____	84
Anexo 8. Tabla de la Distribución t-Student _____	85
Anexo 9. Tabla de valores G de Grubbs _____	86
Anexo 10. Memorias Fotográficas _____	87
Anexo 11. Material de Referencia Certificado _____	91
Anexo 12. Otros _____	92

RESUMEN

La calidad del agua y su composición son factores que no se pueden subestimar, por la importancia que este conlleva como en el desarrollo de las plantas, en la estructura del suelo y en el mismo sistema de riego.

Por otra parte la importancia de la validación de un método es básicamente el proceso para definir un requisito analítico, y la confirmación que cuenta con capacidades consistentes con las aplicaciones requeridas.

La validación de métodos analíticos de los Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Disueltos Totales, fueron validados basándonos en la Norma Boliviana (NB-ISO/IEC 17025_2017) tomando en cuenta los puntos 5.4.5 validando métodos normalizados y modificados por el laboratorio, así tomando como referencia metodologías de *Standardized Methods* 2540 B, 2540 D y 2540 C

La validación de las metodologías se realizó a partir de los siguientes parámetros : Linealidad, Exactitud, Precisión e Incertidumbre, una vez llevado a cabo los ensayos se obtuvieron: ST (Sólidos Totales) obtuvimos una linealidad del sistema con un coeficiente de 0.9999 entre las concentraciones teóricas y experimentales; una exactitud que indica que t_{tab} tiene un valor de 2.447 sabiendo que los resultados de las concentraciones no exceden; en precisión que alcanzó con el control de calidad de $HorRat < 2$ lo que implica resultados precisos y repetibles; con respecto a la incertidumbre obtuvimos resultados con un margen de ± 0.0070 . Los SST (Sólidos Suspendidos Totales) obtuvimos una linealidad del sistema con un coeficiente de 1 entre las concentraciones teóricas y experimentales del Caolín; una exactitud que indica que t_{tab} tiene un valor de 2.447 sabiendo que los resultados son menores; en precisión que alcanzó con el control de $HorRat < 2$ lo que nos da resultados precisos y repetibles; con respecto a la incertidumbre obtuvimos resultados con un margen de ± 0.4125 . En los SDT (Sólidos Disueltos Totales) se obtuvo una exactitud de t_{tab} tiene un valor de 4.303 obteniendo resultados menores al t_{tab} ; una precisión que alcanzó un control de calidad de $HorRat < 2$ lo que nos da

resultados precisos y repetibles; con respecto a incertidumbre obtuvimos resultados con un margen de ± 0.4215 .

Una vez validadas las metodologías se realizó el análisis de agua de riego, las cuales se recolectaron de diferentes puntos de la ciudad de La Paz como ser: Lipari, Avircato, Chicani y Estación Experimental de Cota Cota, Estación Experimental de Choquenaira y la Estación Experimental de Patacamaya, pertenecientes a la Facultad de Agronomía (UMSA).

En cuanto al análisis de costos para ST (Sólidos Totales) se determinó un valor de 37.7 bs, SST (Sólidos Suspendidos Totales) se obtuvo un costo de 55.78 bs, y finalmente para los SDT (Sólidos Disueltos Totales) se determinó un valor de 45.74 bs, finalmente con la validación de estos métodos podemos afirmar que los análisis realizados, en cuanto las metodologías mencionadas son confiables, precisos, repetibles y exactos.

ABSTRACT

Water quality and its composition are factors that cannot be underestimated, because of the importance it has on plant development, soil structure and the irrigation system itself.

On the other hand, the importance of method validation is basically the process of defining an analytical requirement, and confirming that it has capabilities consistent with the required applications.

The validation of analytical methods for Total Solids, Total Suspended Solids and Total Dissolved Solids, were validated based on the Bolivian Standard (NB-ISO/IEC 17025_2017) taking into account the points 5.4.5 validating standardized and modified methods by the laboratory, thus taking as reference methodologies of Standardized Methods 2540 B, 2540 D and 2540 C.

The validation of the methodologies was carried out based on the following parameters: Linearity, Accuracy, Precision and Uncertainty, once the tests were carried out we obtained: ST (Total Solids) we obtained a linearity of the system with a coefficient of 0.9999 between the theoretical and experimental concentrations; an accuracy that indicates that t_{tab} has a value of 2.447 knowing that the results of the concentrations do not exceed; in precision that reached with the quality control of $HorRat < 2$ which implies precise and repeatable results; with respect to the uncertainty we obtained results with a margin of ± 0.0070 . The TSS (Total Suspended Solids) we obtained a linearity of the system with a coefficient of 1 between the theoretical and experimental concentrations of Kaolin; an accuracy that indicates that t_{tab} has a value of 2.447 knowing that the results are lower; in precision that reached with the control of $HorRat < 2$ which gives us accurate and repeatable results; with respect to the uncertainty we obtained results with a margin of ± 0.4125 . In the TDS (Total Dissolved Solids) we obtained an accuracy of t_{tab} has a value of 4.303 obtaining results lower than t_{tab} ; an accuracy that reached a quality control of $HorRat < 2$ which gives us accurate and repeatable results; with respect to uncertainty we obtained results with a margin of ± 0.4215 .

Once the methodologies were validated, irrigation water analysis was performed, which were collected from different points of the city of La Paz such as: Lipari, Avircato, Chicani and Cota Cota Experimental Station, Choquenaira Experimental Station and Patacamaya Experimental Station, belonging to the Faculty of Agronomy (UMSA).

Regarding the cost analysis for TS (Total Solids) a value of 37.7 bs was determined, TSS (Total Suspended Solids) a cost of 55.78 bs was obtained, and finally for TDS (Total Dissolved Solids) a value of 45.74 bs was determined, finally with the validation of these methods we can affirm that the analyses carried out, regarding the mentioned methodologies are reliable, precise, repeatable and exact.

1. INTRODUCCION

Según Serrano (2000) , gran parte del altiplano Boliviano se ve supeditado a factores climáticos adversos que inciden en la productividad agrícola de los principales rubros de ingreso, la poca disponibilidad de agua de buena calidad, hace que este líquido se convierta en el recurso natural más valioso, por consiguiente se deben estudiar metodologías de fácil manejo para un mayor aprovechamiento como en el riego subsuperficial.

La agricultura generalmente consume agua de buena calidad que podría ser utilizada para otros usos más restrictivos, es por ello que la reutilización de agua residual, además de aportar al aumento del techo de recursos disponibles permite que sea agua de calidad que antes se usaba para riego agrícola esté disponible para otros usos.(Lara & Hernandez, s. f.)

Muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos (Herrera et al., 2012).

Según García (2012) indica, la calidad de agua para riego ha sido objeto de innumerables investigaciones orientadas hacia la evaluación y definición de parámetros para calificar sus características físicas y químicas, lo cual ha conducido a la proposición de varios sistemas para su clasificación.

La norma NB-ISO 17025:2015 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayos y de calibración), nos permite poder realizar la validación de las metodologías utilizadas, siguiendo los requisitos que nos permite, esto se llevara para el análisis de los parámetros físicos en agua para la utilización de la agricultura.

La validación de métodos analíticos es un proceso mediante el cual se confirma que un método analítico tiene las características de desempeño que son adecuadas para cumplir los requerimientos de las aplicaciones analíticas pretendidas (Baez, 2009).

El resultado de la validación es probar la capacidad del método y documentar su validez, mediante la determinación de parámetros estadístico matemático de calidad. Para el

aseguramiento de los datos para una adecuada validación de métodos analíticos y trazabilidad es imprescindible que todo equipo y material volumétrico utilizado este calibrado.

En este trabajo se evaluó las metodologías de solidos totales, solidos totales suspendidos y solidos totales disueltos, en las instalaciones del Laboratorio de la Facultad de Agronomía de Suelos y Agua (LAFASA).

1.1 Antecedentes

En la norma Boliviana (ISO 5667-2:2007) se cuenta con un protocolo de muestreo para agua, sin embargo no se cuenta con un protocolo para un muestreo de agua de riego. La cual adaptaremos para nuestro presente trabajo de investigación, en base a literatura internacional.

En el caso de solidos tampoco se cuenta con procedimientos de análisis estos parámetros, si bien se cuenta en la literatura internacional, sabiendo que en nuestro territorio no hubo mucha investigación de los parámetros físicos del agua.

1.2 Justificación

En el trabajo presente para realizar la validación y obtener resultados técnicamente reales y confiables, es necesario realizar una serie de pasos que nos permita alcanzar la validación según la norma nacional. Laboratorio de la Facultad de Agronomía de Suelos y Agua (LAFASA).

La participación en una validación de un método analítico constituye un buen desempeño para el conocimiento técnico analítico de un profesional, ya que en la actualidad es esencial que los laboratorios implementen la validación de métodos analíticos y su generación del mismo como la norma indica (NB-ISO / IEC 17025_2017).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Validación de metodologías para el análisis de los parámetros físicos: Solidos Totales, Solidos Suspendidos Totales y Solidos Disueltos Totales.

1.3.2 Objetivo Especifico

- Evaluar parámetros de validación en las metodologías de Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Disueltos Totales.
- Cuantificar el contenido de sólidos en las aguas de riego de las diferentes Estaciones Experimentales de la Facultad de Agronomía.
- Determinar los costos parciales de la valoración de Sólidos Totales, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Disueltos Totales

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El agua

El agua es el compuesto químico que nos es más familiar, el más abundante y el de mayor significación para nuestra vida. Su excepcional importancia desde el punto de vista químico, reside en que casi la totalidad de los procesos que ocurren en la naturaleza; no solo en los organismos vivos, animales y vegetales, sino en la superficie de la tierra, así como los que se llevan a cabo en los laboratorios y en la industria; tienen lugar entre sustancias disueltas en agua (Toasa, 2012).

Por otro lado, es necesario destacar el agua como un elemento clave para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas y de su biodiversidad, si el agua no garantiza su funcionamiento la sostenibilidad de la sociedad sería inexistente (Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales), (SEMARNAT, 2012), citado por (Ruiz, 2018).

El agua es la sustancia que más abunda en la Tierra y es la única que se encuentra en la atmósfera en estado líquido, sólido y gaseoso, la cual se usa de diversas formas.

Por otro lado FAO (2012), el agua siempre ha sido el principal factor que limita la producción agrícola en gran parte del mundo, donde la precipitación no es suficiente para satisfacer la demanda de los cultivos. Con la competencia cada vez mayor por recursos hídricos no renovables en todo el mundo y la creciente demanda de productos agrícolas, nunca antes ha sido tan apremiante la necesidad de mejorar la eficiencia y productividad del uso del agua para la producción de cultivos, a fin de garantizar la seguridad alimentaria en el futuro y enfrentar las incertidumbres asociadas con el cambio climático. En las últimas décadas, con la finalidad de producir más alimentos y energía, así como de dotar del servicio de agua potable a una población cada vez más numerosa, la demanda por el líquido ha crecido significativamente.

2.2 Composición del agua.

El agua está compuesta por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno. Cada átomo de hidrógeno se encuentra unido covalentemente al oxígeno por medio de un par de electrones de enlace. De esta manera existen cuatro pares de electrones rodeando al

átomo de oxígeno; dos pares formando parte de los enlaces covalentes con los átomos de hidrógeno y dos pares no compartidos en el lado opuesto (Toasa, 2012).

Por otro lado Fernandez (2012), la salinidad total de las aguas superficiales continentales está determinada normalmente por la presencia de los cationes sodio, calcio, magnesio y potasio y de los aniones cloruros, sulfato y bicarbonato-carbonato. La media mundial de salinidad de las aguas continentales es de alrededor de 120 mg/L pero varía de un continente a otro y se debe principalmente a los procesos de meteorización de rocas de la cuenca de drenaje, a la precipitación atmosférica y al equilibrio precipitación-evaporación. A su vez, la meteorización se produce mayormente como consecuencia de procesos de disolución, hidrólisis, de óxido reducción y de formación de complejos con sustancias inorgánicas u orgánicas.

2.2.1 Tipo de agua

2.2.1.1 Agua Natural

Es el agua obtenida de fuentes naturales, se caracteriza por el contenido de sales minerales, presencia de oligoelementos, recogidas en condiciones que garanticen su pureza bacteriológica. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) citado por (Ruiz, 2018)

2.2.1.2 Agua Residual

Es el agua de composición variada proveniente de uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de la otra índole, sea pública o privada y que haya sufrido degradación en su calidad original (Cámara de Industrias de Guayaquil, 2012) citado por (Ruiz, 2018)

2.2.1.3 Agua de consumo

Se define como el agua que está libre de patógenos y de sustancias tóxicas que pueden provocar riesgo en un individuo, este tipo de agua ha sufrido cambios químicos o físicos en su composición, de tal modo que es adecuada para todos los usos domésticos. (Ruiz, 2018).

2.2.2 Clases de Agua

Según las sustancias que tengan disueltas, las aguas de la naturaleza pueden dividirse en dos grandes grupos: “aguas saladas” y “aguas dulces”.

El agua dulce, son las que se hallan normalmente en los continentes (ríos, lagos, pozos, etc.) y las procedentes de las lluvias. Nunca son aguas químicamente puras. Estas no existen en la naturaleza. Se presentan siempre con sustancias disueltas como sales, materias orgánicas e incluso organismos microscópicos. Pero las cantidades son muy pequeñas. Del orden de miligramos por litro. A veces pueden presentarse turbias. Ello es debido a que en su movimiento han arrastrado tierras, arenillas, etc. Las aguas dulces pueden también contener sustancias derivadas de las actividades del hombre (domésticas, agrícolas o industriales, cuyos residuos acaban mezclándose con las aguas

El agua salada, se halla en océanos y mares, donde se desarrolla una abundante población animal y vegetal, de la que se beneficia la humanidad. Esta agua tiene un contenido salino. En cada litro de ella, hay hasta 35 gramos de sales disueltas. La mayor parte de estas sales, es Cloruro Sódico o “sal común”. El agua salada no sirve para el consumo humano ni para regadíos, a no ser que se trate en una “Planta desalinizadora”. Este proceso utiliza el principio de la evaporación. Pero el costo por litro de agua tratada, es muy alto. Por eso se reserva para casos muy especiales.

2.3 Agua de riego

El mayor consumidor de agua en Bolivia es la agricultura bajo riego. El riego es una actividad de alto consumo de agua (>80%), más importante que los usos urbanos (incluso el uso industrial urbano) (Van, 2002).

MAGDR-DGSR-PRONAR (2000) inventariaron los sistemas de riego en las zonas áridas y semi-áridas de los departamentos de La Paz, Oruro, Potosí, Cochabamba, Chuquisaca, Tarija y Santa Cruz. Estas zonas se caracterizan por las bajas precipitaciones fluviales y una producción agrícola orientada principalmente a los productos básicos.

2.3.1 Calidad de agua para riego

La calidad del agua de riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga; por tanto la calidad del agua es una consideración importante para la investigación de las condiciones de salinidad o contenido de sodio intercambiable en cualquier zona de riego (Siles, 1999) citado por (Quispe, 2016).

Por otra lado Acosta & Salvadori (2017), el agua que ingresa al suelo a través de la práctica de riego, puede infiltrar en el mismo o ser retenida. Esta última fracción, es la que aporta las sales al suelo, debido a la evaporación del agua y la extracción por parte de las raíces de las plantas. La magnitud de la acumulación de sales en el suelo depende de la calidad del agua, del manejo del riego y de la eficiencia del drenaje. La acumulación excesiva de sales en la zona radicular del suelo (proceso de salinización), afecta la absorción de agua por parte del cultivo mediante mecanismos osmóticos, aumentando el consumo de energía necesario para la extracción del agua y provocando pérdidas de rendimiento.

Según Garcia (2015), cita que el agua natural es un sistema de cierta complejidad, no homogéneo, que puede estar constituido por una fase acuosa, una gaseosa y una o más fases sólidas. La composición química de este sistema en función del uso que se le da, recibe el nombre de calidad del agua. Existe una serie de normas que regulan las concentraciones permisibles que debe poseer cada elemento o indicador de calidad según los diferentes usos.

2.3.2 Calidad de las fuentes de agua superficial

Comprenden los lagos, ríos, embalses, aguas meteorológicas, estas fuentes están expuestas a una contaminación procedente de los vertidos del cotidiano de la vida moderna y la elección debe efectuarse no solo considerando los factores conocidos en el momento de la decisión, sino lo que puede apartar un futuro próximo.

El agua de ríos, es generalmente suficiente en cantidad, pero inadecuada en calidad, por la variabilidad de su composición química y la gran cantidad de material en suspensión. Es generalmente turbia y rica en bacterias, ya que el curso de agua se utiliza para

diversos fines como ser evacuación de efluentes, aprovechamiento hidráulico, recreación, transporte fluvial, etc (Canedo, 2012).

2.3.3 Efectos sobre las propiedades del suelo

La afirmación del laboratorio de Riverside, acerca de que todo suelo que se riega se saliniza, es válida en zonas donde la ETP es mayor a las precipitaciones. La salinización trae aparejada una menor disponibilidad de agua edáfica para las plantas, formación de costras salinas en superficie con conductividades que pueden llegar a 20 (dS/m) y efecto negativo de iones que pueden llegar a ser tóxicos para las plantas. En estos casos, no hay efecto sobre la estabilidad coloidal, por lo que la estructura y todas las propiedades asociadas (porosidad, infiltración, etc.), no se ven afectadas (Heredia, 2006).

2.4 Indicadores de calidad de agua de riego

La calidad del agua se mide de acuerdo con distintos parámetros mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de las cualidades naturales y se la clasifica para un uso determinado. Según Guillen et al., (2012), el Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y está expresado como porcentaje del agua pura; así agua altamente contaminada tendrá un cercano o igual a 0%, en tanto que el agua en excelentes condiciones tendrá un valor de este índice cercano al 100%.(Castro et al., 2014)

Por otro lado Garcia (2015), señala que la calidad de las aguas, junto a la cantidad, es uno de los indicadores del componente sistemas ambientales para calcular el índice de sostenibilidad ambiental que considera la habilidad de los países para proteger el medio ambiente en las próximas décadas. Esos indicadores son identificados por las Naciones Unidas para definir el desarrollo sostenible. De ahí la importancia de su estudio en las cuencas hidrográfica.

Para determinar la aptitud del agua para el riego se utilizan los siguientes criterios:

- Diagrama de Wilcox: para determinar la clasificación de las aguas de acuerdo a sus contenidos de sales solubles totales y de sodio,
- Salinidad efectiva (SE)
- Salinidad potencial (SP)

- Relación de Adsorción de Sodio corregida (SARx)
- Porciento de Sodio Posible (PSP)
- Coeficiente de irrigación (Ka)
- Índice de saturación de Langelier (IL)

Los indicadores de la calidad de agua se pueden dividir en dos: indicadores de primer grado e indicadores de segundo grado.

Según Quispe (2016) menciona que, los indicadores de la calidad del agua del primer grado son los siguientes: Potencial de hidrogeno (pH), Conductividad Eléctrica (CE), Contenido de sales solubles, presión osmótica y Iones (Cationes y Aniones). Los indicadores de la calidad del agua del segundo grado son: Dureza, Salinidad Efectiva, Salinidad Potencial, Relación de absorción de Sodio, Carbonato sódico residual, Porciento de sodio soluble, Porciento de sodio intercambiable, Coeficiente alcalímetro y Relación de calcio o índice de Kelly.

2.5 Norma internacional ISO/IEC 17025

La norma internacional de ISO/IEC 17025, el uso de esta Norma Internacional facilitara la cooperación entre los laboratorios y otros organismos y ayudara al intercambio de información y experiencia, así como a la armonización de normas y procedimientos (ISO, 2005).

Los laboratorios de ensayos y de calibración que cumplen esta Norma Internacional funcionaran, por lo tanto, también de acuerdo con la Norma ISO 9001.

2.5.1 Norma Boliviana NB-ISO-IEC 17025

Es conveniente que los organismos de acreditación que reconocen la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración se basen en esta Norma Internacional para sus acreditaciones. El creciente uso de los sistemas de gestión ha producido un aumento de la necesidad de asegurar que los laboratorios que forman parte de organizaciones mayores o que ofrecen otros servicios, pueden funcionar de acuerdo con un sistema de gestión de la calidad que se considera que cumpla la Norma NB-ISO 9001 así como esta Norma Internacional. Por ello, se ha tenido el cuidado de incorporar todos aquellos requisitos de la Norma NB-ISO 9001 que son pertinentes al alcance de los servicios de

ensayo y de calibración cubiertos por el sistema de gestión del laboratorio (IBNORCA, 2005).

2.5.2 Control de Registros

Con respecto a los requisitos técnicos el laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para la identificación, la recopilación, la codificación, el acceso, el archivo, el almacenamiento, el mantenimiento y la disposición de los registros de la calidad y los registros técnicos. Los registros de la calidad deben incluir los informes de las auditorías internas y de las revisiones por la dirección, así como los registros de las acciones correctivas y preventivas.

2.5.3 Requisitos Técnicos

El laboratorio debe conservar, por un periodo determinado, los registros de las observaciones originales, de los derivados y de información suficiente para establecer un protocolo de control, los registros de calibración, los registros del personal y una copia de cada informe de ensayos o certificado de calibración emitido (IBNORCA, 2005).

Muchos factores determinan la exactitud y la confiabilidad de los ensayos o de las calibraciones realizadas por un laboratorio. Estos factores incluyen elementos provenientes:

- De los factores humanos
- De las instalaciones y condiciones ambientales
- De los métodos de ensayo y de la calibración y de la validación de los metodos
- De los equipos
- De la trazabilidad de las mediciones
- Del muestreo
- De la manipulación de los ítems de ensayo y de calibración.

2.5.3.1 Factores humanos

La dirección del laboratorio debe formular las metas con respecto a la educación, la formación y las habilidades del personal del laboratorio. El laboratorio debe tener una política y procedencia para identificar las necesidades de formación del personal y para

proporcionarla. El laboratorio debe asegurarse de que dicho personal sea supervisado, que sea competente, y que trabaje de acuerdo con el sistema de gestión del laboratorio (IBNORCA, 2005).

2.5.3.2 Instalaciones y condiciones ambientales

Las instalaciones de ensayos o de calibraciones del laboratorio, incluidas, pero no en forma excluyente, las fuentes de energía, la iluminación y las condiciones ambientales, deben facilitar la realización correcta de los ensayos o de las calibraciones. Se deben controlar el acceso y el uso de las áreas que afectan a la calidad de los ensayos o de las calibraciones. El laboratorio debe determinar la extensión del control en función de sus circunstancias particulares (IBNORCA, 2005).

Se debe tomar en cuenta con las instalaciones exigidas por cada método, se deben tener monitoreadas y controladas las condiciones ambientales que especifica cada método. Para equipos que serán utilizados, se requiere controlar las condiciones ambientales para un buen funcionamiento de los equipos: Temperatura del laboratorio, Humedad relativa, Temperatura de la sala de balanzas y Humedad relativa de la sala de Balanzas (Vargas, 2016)

2.5.3.3 Métodos de ensayo calibración y validación de las metodologías

El laboratorio debe tener instrumentos para el uso y el funcionamiento de todo el equipamiento pertinente, y para la manipulación y la preparación de los ítems a ensayar o a calibrar, o ambos, cuando la ausencia de tales instrumentos pudiera comprometer los resultados de los ensayos o de las calibraciones (IBNORCA, 2005).

Según (MMAyA, 2015), los equipos que se utilicen para el análisis y control de la calidad del agua para consumo humano, tanto para el control por parte de los prestadores como en las labores de fiscalización o de vigilancia, deben ser calibrados periódicamente por el Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), a costos accesibles. Los equipos que no puedan ser calibrados, deberán ser verificados por el Departamento o Unidad de Calidad del propio prestador.

2.5.3.4 Selección de los métodos

El laboratorio debe utilizar los metodos de ensayos o de calibración, incluidos los de muestreo, que satisfagan las necesidades de cliente y que sean aprobados para los ensayos o las calibraciones que realiza. Se deben utilizar preferentemente los métodos publicados como normas internacionales regionales o nacionales (IBNORCA, 2005).

2.5.3.5 Validación de los métodos

La validación es la confirmación, a través del examen y el aporte de evidencias objetivas, de que se cumplen los requisitos particulares para un uso específico previsto.

El laboratorio debe validar los metodos normalizados empleados fuera del alcance previsto, así como las aplicaciones y modificaciones de los metodos normalizados, para confirmar que los metodos son aptos para el fin previsto (IBNORCA, 2005).

2.5.3.6 Métodos estándar o normalizados

Son aquellos publicados por organizaciones internacionales, regionales o nacionales; por organizaciones técnicas respetables; referencias legales y que se ejecutan tal como se describen en la norma. Se prefiere usar los métodos estándar, sin embargo es necesaria la verificación de la capacidad analítica dentro de los laboratorios en los cuales es usado. Aquellos métodos específicos por fabricantes de equipos de análisis también son considerados como métodos estándar.(Toasa, 2012)

2.5.3.7 Métodos desarrollados por el laboratorio

La introducción de los métodos de ensayo y de calibración desarrollados por el laboratorio para su propio uso debe ser una actividad planificada y debe ser asignada a personal calificado, provisto de los recursos adecuados.

Los planes deben ser actualizados a medida que avanza el desarrollo y se debe asegurar una comunicación eficaz entre todo el personal involucrado (IBNORCA, 2005).

Cuando sea necesario utilizar métodos no normalizados, estos deben ser acordados con el cliente y deben incluir una especificación clara de los requisitos del cliente y del objetivo

del ensayo o de la calibración. El método desarrollado debe haber sido validado adecuadamente antes del uso (IBNORCA, 2005).

2.5.3.8 Control de datos

Los cálculos y la transferencia de los datos deben estar sujetos a verificaciones adecuadas llevadas a cabo de una manera sistemática.

Cuando se utilicen computadoras o equipo automatizado para captar, procesar, registrar, informar, almacenar o recuperar los datos de los ensayos o de las calibraciones, el laboratorio debe asegurarse

2.5.3.9 Muestreo

Según (IBNORCA, 2005), el laboratorio debe tener un plan y procedimientos para el muestreo cuando efectúe el muestreo de sustancias, materiales o productos que luego ensaye o calibre. El plan y los procedimientos para el muestreo deben estar disponibles en el lugar donde se realizan el muestro. El proceso de muestreo debe tener en cuenta los factores que deben ser controlados para asegurar la validez de los resultados de ensayo y de calibración.

Para el adecuado muestreo de agua, se debe realizar con las normas correspondientes tales como las Normas Bolivianas ISO 5667-2:2007, para la conservación y manipulación de las muestras, las cuales nos indican el adecuado manejo de las muestras así para obtener resultados confiables de las aguas estudiadas.

El proceso de toma de muestra debe ser un proceso planificado que defina, al menos:

- Objetivo de la toma de muestra y parámetros a analizar.
- Identificación y localización del punto o puntos de toma de muestra.
- Tipo de envases en función de los análisis a realizar.
- Condiciones de transporte y conservación.
- Documentos aplicables y registros necesarios para asegurar la trazabilidad del proceso.

2.6 Normas para la clasificación del agua de riego

2.6.1 Norma H. Greene (F.A.O.)

La norma H. Greene (FAO), toma como base la concentración total de sales expresadas en meq/l con relación al porcentaje de sodio, este porcentaje se calcula respecto al contenido total de cationes expresados en meq/L (Quispe, 2016). (Ver la Figura.2).

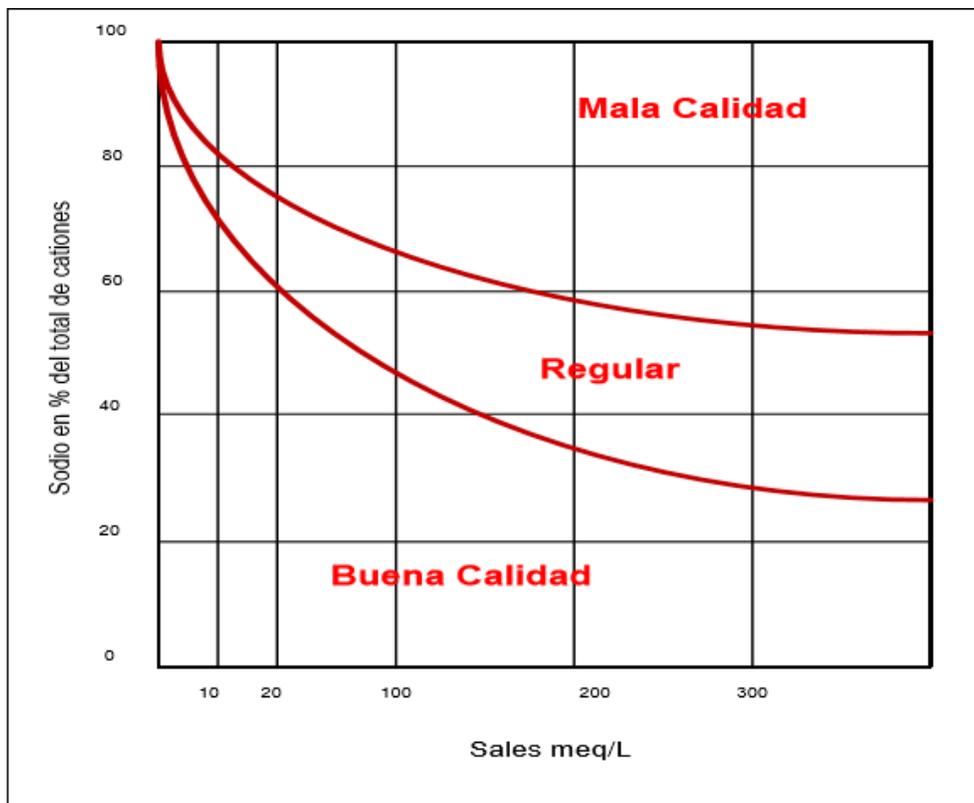


Figura 1. Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego

Fuente: Cánovas (1986), citado por Quispe (2016)

2.6.2 Norma Riverside

La Norma Riverside es un sistema para la clasificación de las aguas para riego desarrollado por el servicio de agricultura de los EEUU. Tienen gran aceptación nacional porque basa su estructura en relación a dos criterios importantes, la conductividad eléctrica (uS/cm) y el índice de RAS. Según estos dos índices se establecen categorías o clases de aguas enunciadas según las letras C y S (primeras iniciales de cada uno de

los índices escogidos) afectadas de un subíndice numérico, cuyo valor aumenta en relación con el del índice respectivo, estos subíndices varían entre 1 y 4, tanto para la conductividad eléctrica como para el SAR. De acuerdo con esta Norma es posible determinar la calidad del agua y establecer si es apta para el riego. (Urbano, 1980), citado por (Quispe, 2016).

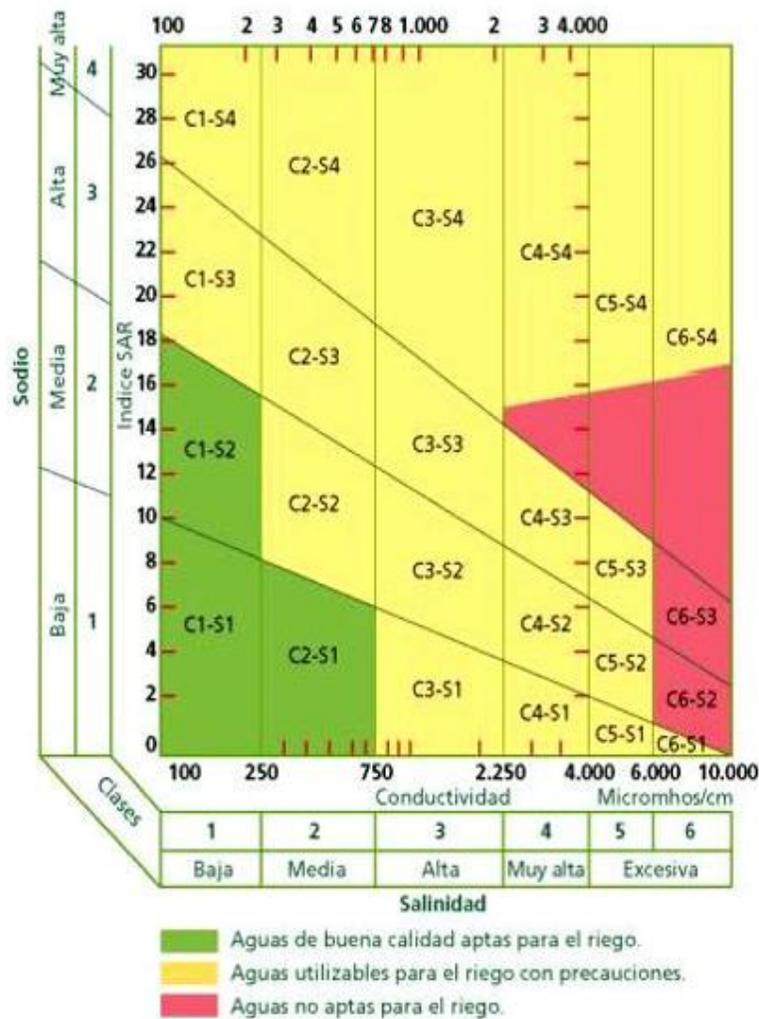


Figura 2. Diagrama para la clasificación de las aguas de riego (Según USDA)

Fuente: Blasco y de la Rubia, Lab de suelos IRYDA.(1973), citado por (Quispe, 2016)

2.6.3 Norma L.V. Wilcox

La Norma L.V. Wilcox es un modelo que nos sirve para clasificar la calidad de agua de riego según la aptitud de uso tomando como base la conductividad eléctrica del agua y la relación de absorción de sodio (Quispe, 2016).

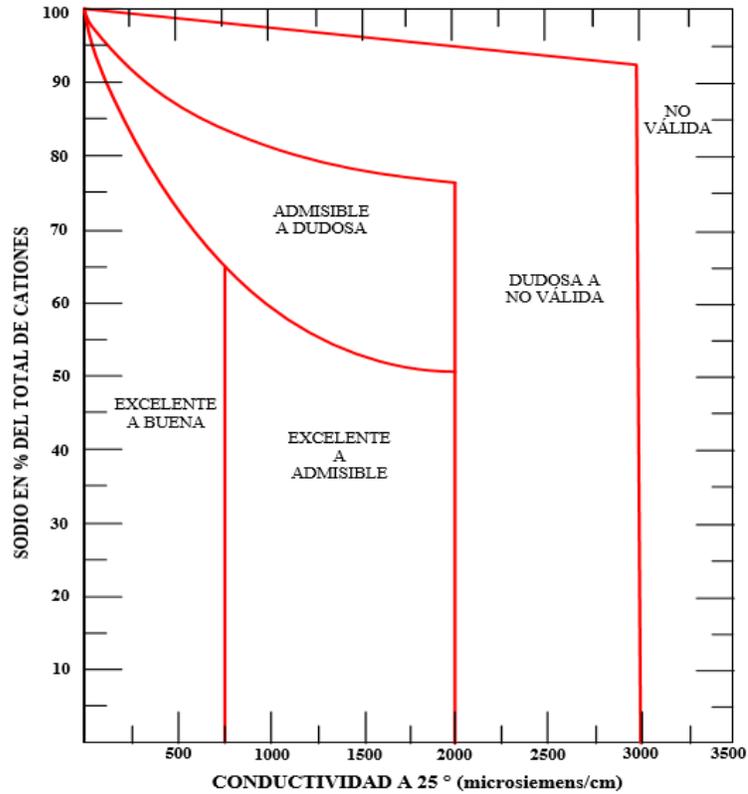


Figura 3. Diagrama para la interpretación del valor de un agua de riego.

(Adaptado de “The Quality fo wáter for Irrigation USE”, U.S.D.A)

Fuente: Cánovas (1986), citado por Quispe (2016)

2.7 Clasificación de los parámetros de la calidad del agua

Entre los parámetros que permiten determinar la calidad de agua se encuentran los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

2.7.1 Parámetros químicos de la calidad del agua

Estos toman un papel importante con respecto a la calidad del agua, permiten identificar y cuantificar agentes contaminantes, la materia orgánica constituye la tercera parte de

los elementos de aguas residuales, en caso de que el agua no haya recibido vertidos urbanos o industriales se deben analizar los siguientes parámetros: iones más importantes, dureza, salinidad, OD, DQO y DBO5; en caso de necesitar un grado más detallado de contaminación es necesario incluir otros parámetros tales como fenoles, nitratos, fosfatos, detergentes, metales pesados entre otros. (Ramos, 2016) citado por (Ruiz, 2018).

2.7.2 Parámetros microbiológicos de la calidad del agua

Tienen como objetivo principal la utilización de organismos vivos, los cuales representan la actividad biológica del agua, se los puede denominar como analizadores en continuo debido a que permiten detectar cambios tanto continuos como ocasionales, son capaces de reflejar la existencia de compuesto químicos que no se han podido detectar en análisis físico-químicos, su determinación se la realiza mediante el control de la presencia, abundancia o estructura. El costo y la infraestructura de análisis respecto a parámetros químicos es menos costosa y complicada respectivamente, pero requieren de mayor tiempo y presenta una estandarización más compleja. (Ramos, 2016) citado por; (Ruiz, 2018)

2.7.3 Parámetros Físicos de la calidad del agua

El agua disuelve muchas sustancias y las retiene aunque varíe la temperatura. Su capacidad de disolver los nutrientes del suelo es fundamental para que las plantas puedan absorberlos por sus raíces. Además, la propiedad de disolver sustancias y mantenerlas aunque varíe la temperatura permite que algunos procesos metabólicos de los organismos vivos se mantengan estables a pesar de las oscilaciones térmicas (FAO, 1996).

Por otro lado, a su comportamiento como disolvente hay que añadir su capacidad para que se desarrolle vida en su seno, lo que la convierte en un sistema complejo sobre el que habrá que realizar análisis tanto cualitativos como cuantitativos con objeto de conocer el tipo y grado de alteración que ha sufrido, y consecuentemente como se encuentran modificadas sus propiedades para usos posteriores, la alteración de la calidad del agua puede venir provocada tanto por efectos naturales como por la actuación

humana derivada de la actividad industrial, agropecuaria, doméstica o de cualquier otra índole e, no es de extrañar que el análisis de los parámetros de calidad del agua se deba realizar a todo tipo de aguas, independientemente de su origen (Aznar, 2000).

Los parámetros físicos los cuales toman en cuenta otros autores son: sólidos, temperatura, color, olor, sabor, óxidos disueltos, demanda bioquímica de oxígeno. En este trabajo de tomo en cuenta los parámetros adaptados por (Ayers & Westcot, 1985) los cuales serán detallados en la Tabla 1.

Tabla 1. Determinación de laboratorio necesarias para evaluación del agua de riego (Adaptado de Ayers & Westcot, 1985)

Parámetros	Símbolo	Unidad	Valores Normales en aguas de riego
Salinidad			
Conductividad Eléctrica	Cea	dS/m	0-3
Total Sólidos Disueltos	TSD	mg/ L	0-2000
Cationes y Aniones			
Calcio	Ca ⁺⁺	meq/L	0-20
Magnesio	Mg ⁺⁺	meq/L	0-5
Sodio	Na ⁺	meq/L	0-40
Potasio	K ⁺	meq/L	0-0,2
Carbonatos	CO ₃ ⁼	meq/L	0-0,1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/L	0-10
Cloruros	Cl ⁻	meq/L	0-30
Sulfatos	SO ₄ ⁼	meq/L	0-20
Nitratos	NO ₃ ⁻	meq/L	0-5
Miscelaneos			
Boro	B	mg/L	0-2
Reacción	pH		6-8,5
Relación adsorción de sodio	RAS*	[cmol(+)/L] ^{1/2}	0-15

* $RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$

Fuente: A. García (2012)

Como vemos en la Tabla 1, los parámetros físicos son conductividad y sólidos totales disueltos, revisando otros autores se desglosa los sólidos en: sólidos totales, sólidos totales suspendidos y sólidos totales disueltos.

2.7.3.1 Sólidos

El agua tiene como una de sus propiedades más importantes disolver multitud de sustancias, las cuales le confieren unas características distintas.

Se define como sólidos aquel material que permanece después de la evaporación y secado de una muestra de volumen determinado, éste material puede ser de naturaleza orgánica o inorgánica siendo de esta manera considerada como un contaminante del agua (Ruiz, 2018).

Por otro lado, para un diagnóstico de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material sólido que contiene la muestra. El primer tipo de sólidos de importancia, en cuanto a calidad del agua (Toasa, 2012).

Según Argandoña y Macías (2013), todos los contaminantes del agua, con excepción de los gases disueltos, contribuyen a la "carga de sólidos". Pueden ser de naturaleza orgánica y/o inorgánica. Proviene de las diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales. La definición generalizada de sólidos es la que se refiere a toda materia sólida que permanece como residuo después de una evaporación y secado de una muestra de volumen determinado, se puede ver la clasificación de los sólidos (Tabla 2)

Tabla 2. Clasificación de Sólidos

Según su tamaño y estado	Sólidos en suspensión	Fración de sólidos retenidos sobre un filtro con un tamaño de poro específico medido después de que ha sido secado a una temperatura específica
	Sólidos totales (Coloidales + disueltos)	Sólidos que pasaron a través del filtro y luego son evaporados y secados a una temperatura específica. La medida de SDT comprende coloides y sólidos disueltos. Los coloides son de tamaño 0,001 a 1 µm
Según sus características químicas	Sólidos volátiles totales	sólidos que pueden ser volatizados e incinerados cuando las ST son calcinados (500 ± 50 °C)
	Sólidos fijos	Residuo que permanece después de incinerar los ST (500 ± 50 °C)
Según su decantabilidad	Sólidos en suspensión sedimentales	Sólidos suspendidos, expresados como mililitros, que se sedimentarán por fuera de la suspensión dentro de un periodo de tiempo específico

Fuente: Argandoña & Macías, (2013) citado por Ruiz (2018)

2.7.3.2 Sólidos Totales

Los sólidos totales incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y hierro) como la materia orgánica. Pueden clasificarse de acuerdo con su tamaño y estado (sólidos en suspensión, sólidos coloidales y sólidos disueltos), por las características químicas (sólidos volátiles y fijos) y por la decantabilidad (sólidos en suspensión sedimentables y no sedimentables) (Toasa, 2012).

Según Vargas (2016), si tomamos una muestra del agua residual, evaporamos toda el agua y pesamos el residuo seco resultante, obtendremos los sólidos totales contenidos en el agua de partida. Por tanto, esta medida nos da la cantidad total de sólidos presentes, independientemente de su naturaleza y de la forma en la que se encuentren en el agua. Para hacer estas distinciones necesitamos introducir otras definiciones

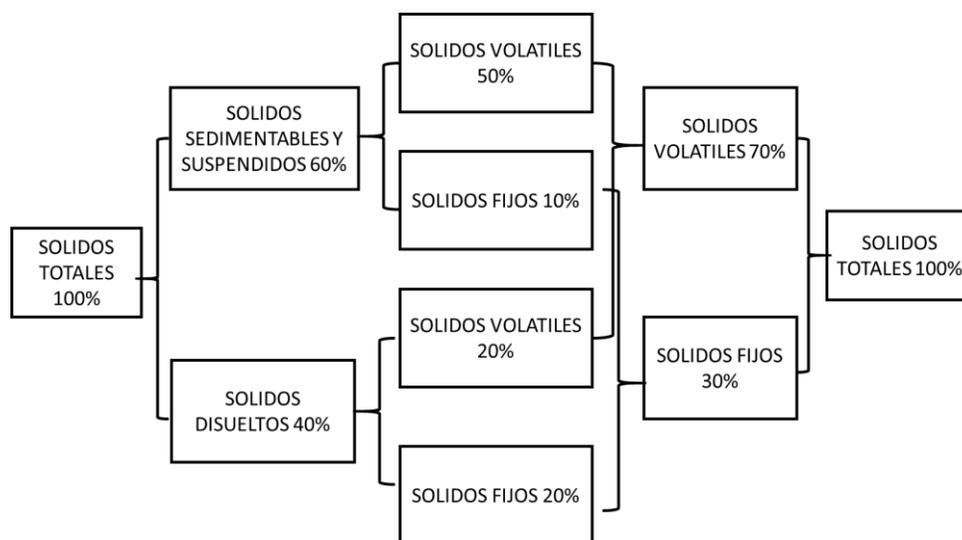


Figura 4. Composición de los Sólidos en Aguas.

Fuente: Vargas (2016)

2.7.3.3 Sólidos Suspendidos Totales

Sólidos Suspendidos Totales (SST), o sólidos no filtrables, se llaman así las partículas insolubles presentes en el seno del agua. Dependiendo del tamaño de las partículas, se pueden dividir en los que son capaces de formar suspensiones estables en el agua en

reposo (soluciones coloidales) y los que sólo se encuentran en suspensión cuando el agua está en movimiento partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez, cuanto mayor es el contenido de sólidos suspendidos, mayor es el grado de turbidez (Vargas, 2016).

Por otro lado, las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0.01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayores de 0.01 mm) son generalmente sedimentables (Avendaño, 2018).

Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte de los sólidos suspendidos son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua (Argandoña & Macias, 2013).

2.7.3.4 Sólidos Disueltos Totales

Los Sólidos Disueltos Totales (SDT), están compuestos por sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio y sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que pueden estar presentes en forma molecular, ionizada o en suspensión micro-granular, estos sólidos atraviesan un filtro con un tamaño de poro de 0,45 μm , de modo que están compuestos por sólidos disueltos y coloidales (Jiménez, 2005) citado por (Ruiz, 2018).

Por otra parte, los Sólidos Disueltos Totales son moléculas e iones; que se encuentran diluidos en el agua. La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases producto de descomposición de materia orgánica, metales y compuestos químicos orgánicos que dan olor, color, sabor y eventualmente toxicidad al agua que los contiene (Toasa, 2012).

Según García (2012), este parámetro se utilizó inicialmente para apreciar la salinidad de las aguas de riego y, hoy todavía se utiliza cuando no se dispone de un conductivímetro.

Para su determinación se produce a evaporar un volumen conocido de agua completamente. En la Figura 6 se puede ver la clasificación de las partículas de los sólidos

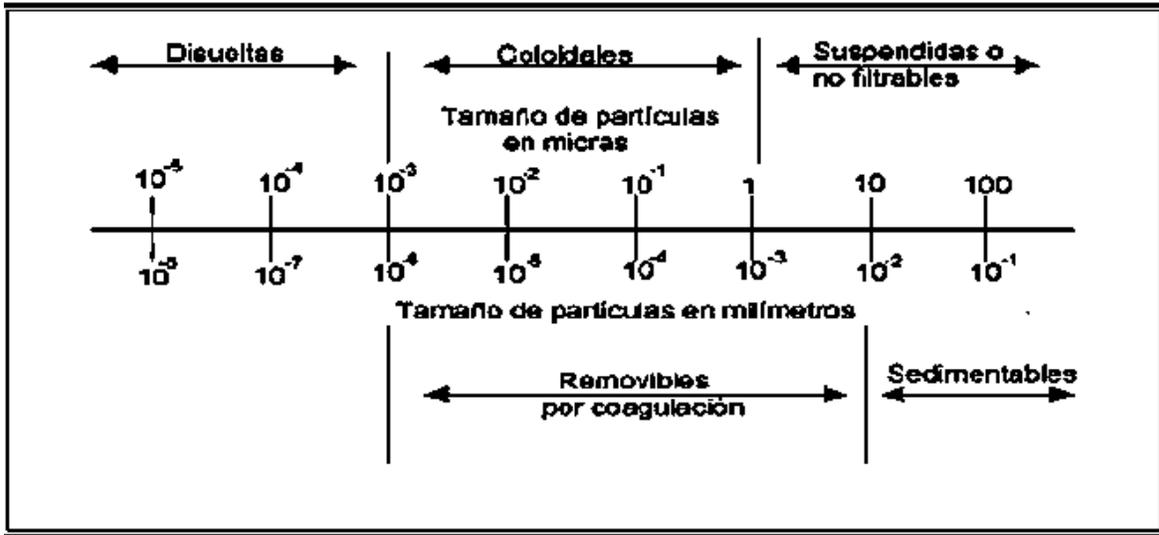


Figura 5. Clasificación de los Sólidos según las Partículas

Fuente: Argandoña & Macias (2013)

2.8 Validación de Métodos Analíticos

Son procesos que demuestran que los procedimientos analíticos son adecuados para su uso, consiste en el suministro de evidencia objetiva que indica que se han cumplido con los requisitos específicos para una aplicación prevista. En un laboratorio los métodos validados tienen que ser sometidos a pruebas, tanto documentales como demostrativas, las cuales deben dar resultados válidos y coherentes que permitan la aceptación del mismo. La validación proporciona un alto grado de confianza y seguridad del método analítico y se realiza con carácter obligatorio cuando se desarrolla un nuevo procedimiento, ya que permite asegurar que el método propuesto hace lo que tiene que hacer. La validación de ensayos demuestra experimentalmente que los procedimientos de análisis que aplica el laboratorio generan resultados confiables, para ejecutar la validación es necesario definir claramente el uso previsto para el ensayo y los requisitos sobre los cuales se deben aportar evidencia para su validación (norma técnica, reglamento técnico, protocolo), esto debe llevarse a cabo antes de exponer al usuario la metodología analítica (Ruiz, 2018).

Por otro lado, Se trata de probar la calidad del procedimiento analítico y la capacidad del laboratorio determinando sus características sobre la base de ciertos parámetros estadísticos. Por lo tanto, se constituye en un componente esencial de las medidas que un laboratorio debe implementar para producir datos analíticos confiables (Baez, 2009).

2.8.1 Material de Referencia Certificado (MRC)

Es el material que se usa para la calibración de sistemas de medición o como patrón para la comparación en las determinaciones del analito, en caso de no poseer material de referencia primario, se propone la caracterización mediante métodos especiales que aseguren la evaluación correcta de los niveles de pureza requeridos. La caracterización del material de referencia que se usara en la validación aparecerá como anexo en el plan de validación (Ruiz, 2018)

2.9 Parámetros de Validación

Para la validación de las metodologías analizadas es necesario determinar los parámetros que son necesarios para así poder demostrar la confiabilidad de los métodos de análisis se pueden determinar en forma cualitativa y cuantitativa.

Tabla 3. Parámetros de acuerdo a la metodología de análisis

Análisis Cualitativos	Análisis Cuantitativos
Falsos positivos	Exactitud
Especificidad	Precisión
Sensibilidad	Linealidad
Región de incertidumbre	Robustez
Límite de corte	Límite de Detección y Cuantificación

Fuente: (Ruiz, 2018)

2.9.1 Linealidad

La linealidad es la capacidad de un método de análisis, dentro de un determinado intervalo, de dar una respuesta o resultados instrumentales que sean proporcionales a la cantidad del analito que se habrá de determinar en la muestra de laboratorio. Con el

fin de determinar el rango lineal se puede realizar mediante un gráfico de concentración versus respuesta, que se conoce como Función Respuesta (normalmente llamada recta de calibrado). Ésta se establece cada día con una cierta cantidad de valores formados por un blanco y los patrones de trabajos limpios de valor teórico conocido, que cubran el intervalo de trabajo (Yujra, 2018)

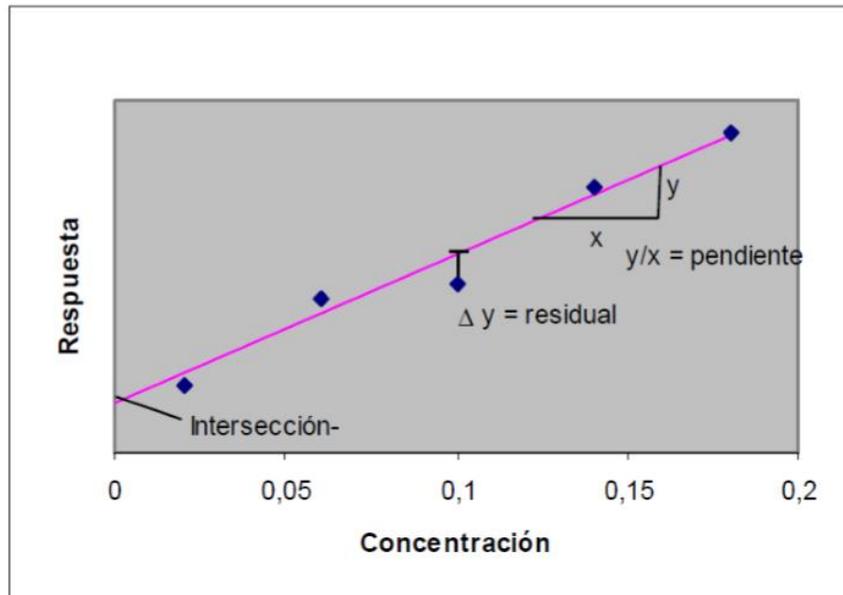


Figura 6. Linealidad

Fuente: Validación de métodos analíticos (2002) citado por (Yujra, 2018).

Por lo tanto, el número de puntos a analizar deberá ser establecido por el analista (en general, se utiliza un mínimo de cuatro valores).(Instituto de Salud Pública, 2010)

Los análisis de estimación lineal o regresión lineal se utilizan para hallar la función de respuesta de una recta de calibración del método analítico que se encuentra desarrollando. Esta función de respuesta se obtiene a través de dos factores como son la concentración del analito de interés (Jácome Y., 2014)

2.9.2 Exactitud

Se define la exactitud como el grado de concordancia entre el resultado de un ensayo y el valor de referencia.

El término “exactitud”, esta aplicado a un conjunto de resultados de un ensayo, y supone una combinación de componentes aleatorios y un componente común de error

sistemático o sesgo. Cuando se aplica a un método de ensayo, el término “exactitud” se refiere a una combinación de veracidad y precisión (Instituto de Salud Pública, 2010).

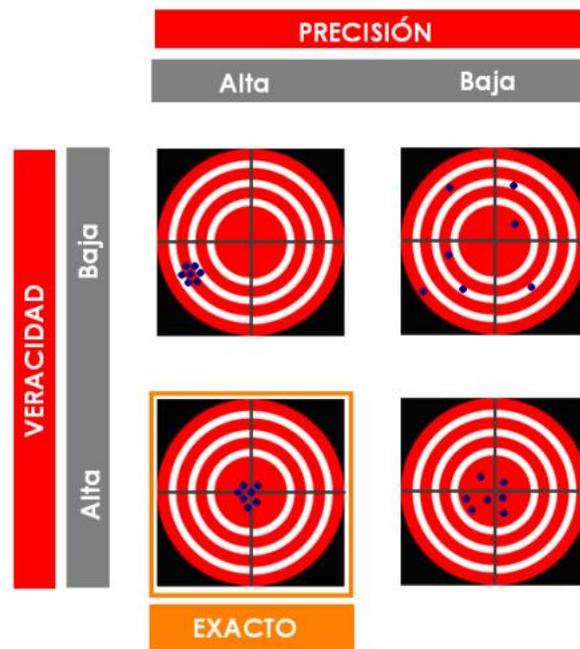


Figura 7. Exactitud

Fuente: Instituto de Salud Pública (2010)

2.9.3 Sesgo

Para poder determinar veracidad se debe determinar sesgo la cual se realiza La diferencia entre el valor esperado de los resultados de prueba y un valor de referencia aceptado.

La diferencia entre la expectativa relativa a los resultados de un ensayo o una medición y el valor verdadero. En la práctica el valor convencional de cantidad puede sustituir el valor verdadero. El sesgo es el error sistemático total en contraposición al error aleatorio. (Instituto de Salud Pública, 2010)

Teniendo los resultados evaluados en el intervalo de trabajo y los datos de promedios y la desviación estándar de cada nivel.

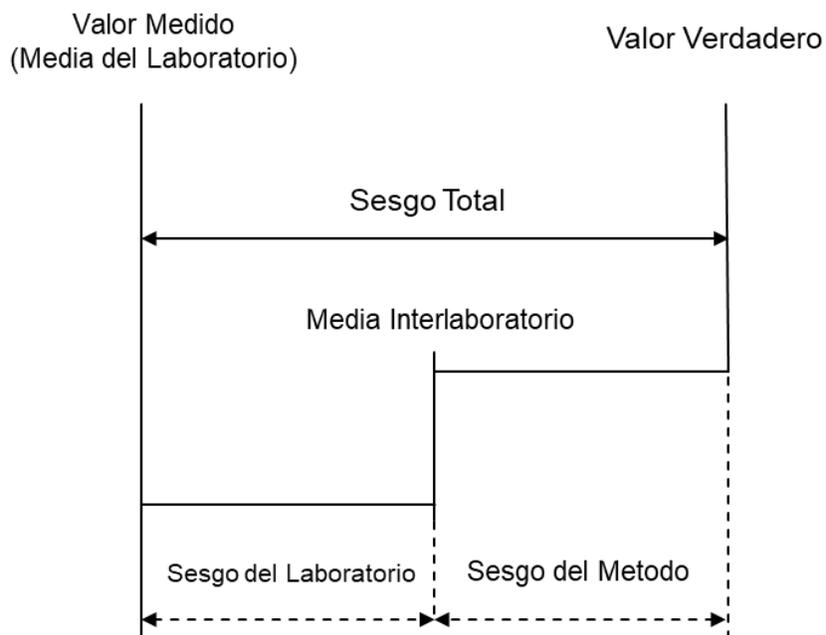


Figura 8. Componente del Sesgo

Fuente: Vargas (2016)

2.9.4 Precisión

Es la medida del grado de concordancia entre análisis repetidos de una muestra. La precisión se expresa por lo general en términos de la desviación estándar, desviación estándar relativa, el coeficiente de variación o el rango (Giraldo, 1999).

Según Eurachem/Citac (2005) citado por Yujra (2018) , las fuentes de variación se pueden dividir en: instrumentales y técnicos, humanas y ambientales, las medidas de precisión más comunes son la “repetibilidad” y la “reproducibilidad”. Estas representan las dos medidas extremas de precisión que puede obtenerse.

La reproducibilidad se entiende como la capacidad de un sistema de medición para reproducir de manera uniforme la misma medición bajo las mismas condiciones, por ello es necesario que se realicen las mediciones en condiciones controladas. La repetibilidad es la capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones a lo largo de periodos dilatados de tiempo. Se calcula como la máxima desviación estándar de las medias, es decir, la más desfavorable, (Barrera, 2018).

2.9.5 Incertidumbre

La incertidumbre de una medición es el parámetro asociado al resultado, es decir, caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mesurando.

En este sentido, es recomendable trabajar con un método validado o verificado por el laboratorio, se realice la determinación de las diferentes fuentes o componentes de la incertidumbre de la medición presentes.

Se estima la incertidumbre asociada al resultado de un ensayo en base a los datos obtenidos en la validación del método de ensayo en el laboratorio. Se calcula en base a tres componentes, la precisión, la verificación de la veracidad y la incertidumbre asociada a otros términos.(Barrera, 2018).

Para este fin el laboratorio deberá realizar una evaluación de las incertidumbres tipo A y B que están presentes en el método:

Evaluación de incertidumbre tipo A: Evaluación de un componente por un análisis estadístico de los valores de mediciones obtenidos en condiciones de medición definidas. Ejemplo: realizar varias mediciones en condiciones de repetibilidad.

Evaluación de incertidumbre tipo B: Evaluación de un componente incertidumbre de la medición realizada por otros medios distinto a los del tipo A. Ejemplos: La evaluación basada en la información, obtenidos a partir de un certificado de calibración, obtenidos a partir de los límites deducirse a través de personal la experiencia, etc.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

Este estudio se realizó en el Laboratorio de la Facultad de Agronomía de suelos y aguas (LAFASA), perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, en un ambiente cuya temperatura promedio de 17 centígrados.

La Figura 10, se presenta la ubicación de los sitios de muestreo de agua para uso agrícola localizado en la ciudad de La Paz que tiene una superficie de 472 km². En la Tabla 4 se encuentra la localización geo referenciada de estos puntos de muestreo de aguas.

Tabla 4. Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (Agua)

N°	Lugares	Municipio	Posición Geográfica (°)		Altitud (msnm)
			Sur	Norte	
1	Cota Cota (rio)	Nuestra señora de La Paz	-16,536963	-68,061043	3,839
2	Cota Cota (Canal de riego)	Nuestra señora de La Paz	-16,536575	-68,060471	3,839
3	Cota Cota (Tanque)	Nuestra señora de La Paz	-16,536615	-68,064323	3,839
4	Cota Cota (Manantial)	Nuestra señora de La Paz	-16,536486	-68,064751	3,839
5	Patacamaya (Pozo)	Patacamaya	-17,268181	-67,951759	3,782
6	Patacamaya (Primer Reservorio)	Patacamaya	-17,274277	-67,850456	3,782
7	Patacamaya (Segundo Reservorio - Aspersor)	Patacamaya	-17,261454	-67,943832	3,782
8	Choquenaira (Pozo Sur)	Viacha	-16,696255	-68,277496	3,870
9	Choquenaira (Pozo Norte)	Viacha	-16,681137	-68,284042	3,870
10	Choquenaira (Pivote)	Viacha	-16,693647	-68,282632	3,870
11	Choquenaira (Tanque)	Viacha	-16,695164	-68,286675	3,870
12	Lipari	Mecapaca	-16,608795	-68,067619	3,032
13	Avircato	Mecapaca	-16,684788	-68,014175	2,864
14	Chicani	Nuestra señora de La Paz	-16,481684	-68,068176	3,886

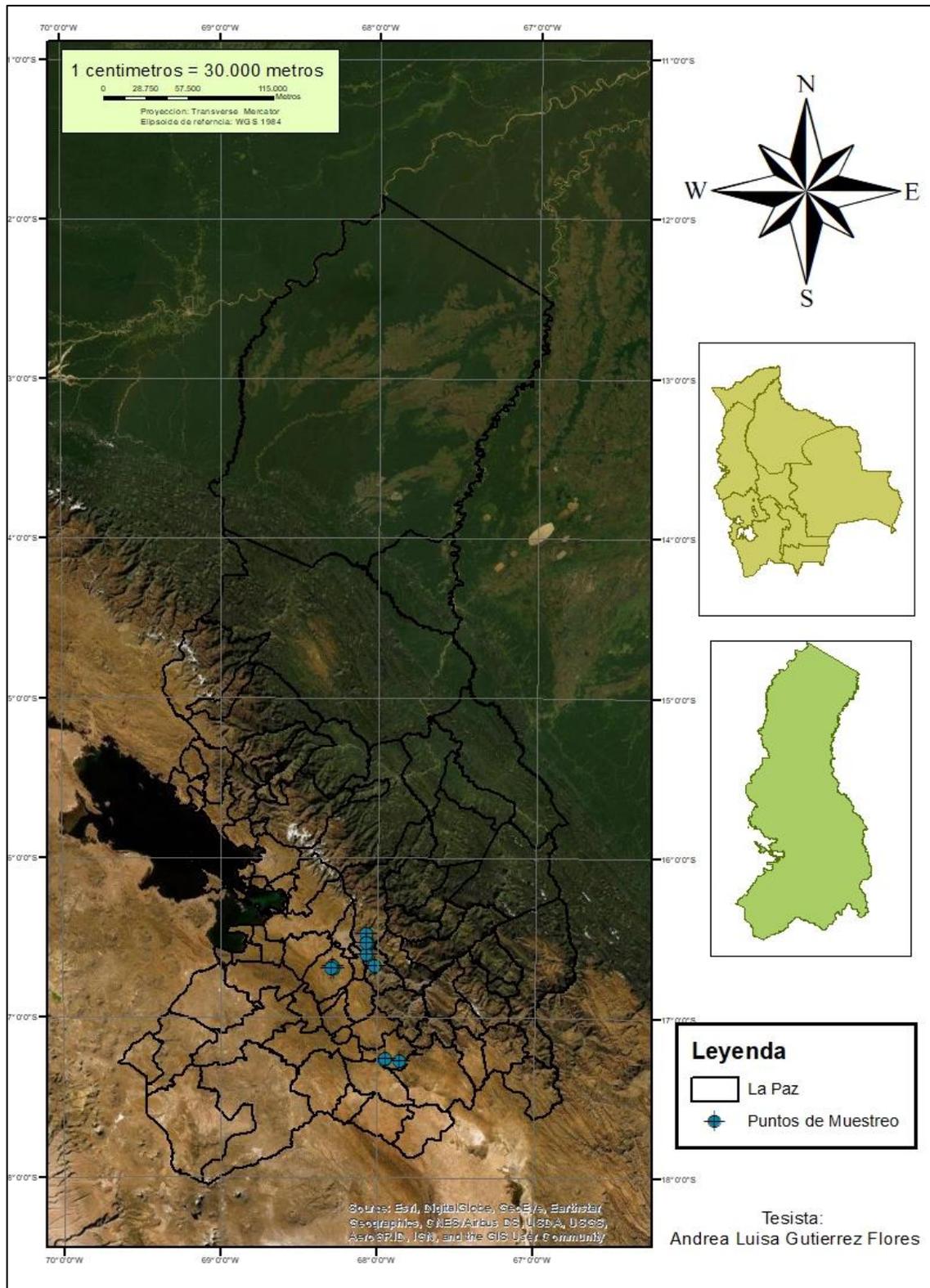


Figura 9. Mapa de Localización de los sitios de muestreo de agua riego, en la ciudad de La Paz

3.2 Materiales

3.2.1 Material de Laboratorio y Reactivos

En la Tabla 5, se muestra el uso de los materiales, reactivos, material de vidrio y otros materiales para su almacenamiento.

Tabla 5. Materiales de Laboratorio

Equipos	Reactivos
- Equipo de Filtración	- Caolín
- Conductímetro	- Agua destilada
- Bomba de vacío	- Agua Purificada
- Balanza Analítica	- Cloruro de Sodio
- Mufla	
- Estufa de laboratorio	
- Desecador	
- Agitador Magnético	
- Destiladora de agua	

Vidriería	Otros
- Vaso precipitado de 50 o 100 ml	- Frascos esterilizados
- Capsulas de porcelana de 90 mm de diámetro de 100 ml	- Culer
- Erlenmeyer con tabulación lateral	
- Probetas	
- Crisol	
- Termómetro	
- Filtros de fibra de vidrio	

3.2.2 Material de gabinete

- Computadora personal
- Material de escritorio
- GPS
- Programa de Argis
- Imágenes de Google Earth

3.3 Metodología

3.3.1 Evaluar los parámetros de validación

3.3.1.1 Preparación del Material de Referencia (MR)

1) Material de referencia para solidos totales

- Se preparó concentraciones de 200 a 20000 (mg/L) de Caolín.

2) Material de referencia para solidos totales suspendidos

- Se preparó concentraciones de 200 a 20000 (mg/l) de Caolín

3) material de referencia para solidos totales disueltos (solución de cloruro de potasio) (Toasa, 2012)

- Se preparó concentraciones en un rango de 50 a 5000 (mg/L) de Cloruro de Potasio

3.3.1.2 Procedimiento de los Métodos

3.3.1.2.1 Determinación de Solidos Totales

La determinación de solidos totales se realizó a partir de las metodologías empleadas según el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Vives de Andreis, 2003). Utilizado el método estandarizado 2540-B. Sólidos Totales rango de secados 103°C – 105°C)

Procedimiento:

- Se colocó una cápsula de porcelana limpia en una mufla a ignición a 550 °C por una hora.
- Posteriormente se llegó a enfriar al desecador, pesar y guardar la cápsula en un desecador hasta ser utilización.
- Se transfirió un volumen conocido de la muestra a la cápsula (50 ml) y evaporar a sequedad en un horno de secado a una temperatura de 98 °C para evitar ebullición y salpicaduras; elegir un volumen de muestra que produzca un residuo mínimo de 25 a 250 mg.
- Mantener durante una hora a 103 - 105 °C una vez evaporada.
- Se llevó a enfriar el recipiente en un desecador y posteriormente pesar.

- Se repitió el ciclo de secado a 103 - 105 °C, enfriando, desecando y pesando hasta obtener un peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor que el 4% del peso previo

3.3.1.2.2 Determinación de Sólidos Suspendidos Totales

Basado en los Metodos Analíticos para la Evaluación de la Calidad Fisicoquímica del Agua (Londoño et al., 2010), se realizó el método de estudio. Utilizado el método estandarizado 2540 D. Total Suspended Solids Dried at 103–105°C

Preparación del disco de filtración:

- Se insertó el disco con la cara rugosa hacia arriba en el embudo de filtración, conecte el vacío y se lavó el disco con 20 ml de agua destilada
- continuemos la succión hasta eliminar totalmente los residuos de agua.
- Se trasladó el disco en la estufa a 103°C durante una hora. Si va a medir sólidos volátiles calcine en la mufla a 550°C±50°C durante 20 minutos
- Enfriar en el desecador y pesar.

Análisis de la muestra:

- Se midió 100 ml de muestra o un volumen que proporcione entre 2,5 y 200 mg de residuo.
- Inserto el filtro en el embudo de filtración, conecte el vacío e inicie la succión
- Se filtró la muestra previamente agitada a través del filtro de fibra de vidrio.
- Posteriormente se lavó con tres porciones de 10 ml de agua destilada
- Continuamos la succión por cerca de tres minutos.
- Retiramos el filtro del embudo y séquelo en la estufa a 103°C-105°C
- Se trasladó al desecador y se realizó el pesado.

3.3.1.2.3 Determinación de Sólidos Disueltos Totales

Se determinó los sólidos disueltos totales basando en el manual de Metodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas (Severiche et al., 2013). Utilizado el método estandarizado 2540 C. Total Dissolved Solids Dried at 180°C

Preparación del filtro y la cápsula de porcelana:

- Se encendió la mufla a $180 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Se colocó el filtro (con la cara rugosa hacia arriba), en el equipo de filtración.
- Aplicar vacío y lavar con 3 porciones sucesivas de 20 ml de agua destilada.
- Se continuó la succión hasta remoción total de las trazas de agua.
- Retiro el filtro, depositarlo en la cápsula de evaporación que se va a tarar y llevarlos a la mufla por 1 hora a $180 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Después de la hora, sacar la cápsula con el filtro y colocarla en el desecador.
- Con las pinzas, se retiró el filtro y se colocó sobre papel aluminio en el mismo desecador donde se dejó en reposo junto con la cápsula hasta el momento de usarlos.
- Pesar la cápsula inmediatamente antes de usar y registrar el dato (Peso A).

Análisis de la muestra:

- Se ensambló el equipo de filtración utilizando un filtro previamente acondicionado.
- En función del aspecto de la muestra, seleccionar el volumen a filtrar.
- Se mezcló bien la muestra y se procedió al filtrado.
- Se lavó con tres alícuotas de 10 ml de agua destilada.
- Continuamos la succión durante 3 minutos adicionales.
- Se transfirió el filtrado a la cápsula de evaporación previamente tarada.
- Se introdujo la cápsula en la mufla previamente acondicionada a $180 \pm 2^\circ\text{C}$ y dejó durante una hora.
- Se llevó al desecador; pesar sin dilación la cápsula y registrar el dato (Peso B).

3.3.2 Muestreo de Aguas para Riego

Las muestras fueron tomadas en puntos representativos, es decir, vertientes de agua, coyunturas de flujos hídricos o puntos que presenten características organolépticas desfavorables. La cantidad de muestra de agua es de 1 litro, el envase debe ser polipropileno y cerrado herméticamente para no contaminar la muestra, estos pasos fueron utilizados según la NB/ISO 5667-2:2007.

3.3.3 Validación

Para validación de los métodos de ensayo físico-químico tomó los siguientes parámetros: Linealidad, Exactitud, Sesgo (veracidad de la medida), Precisión e Incertidumbre. En función del método estos son aplicables a los métodos mencionados.

3.3.3.1 Determinación de la linealidad del sistema

Los ensayos se realizaron por Triplicado, utilizando los equipos y materiales en el mismo laboratorio para la realizar los ensayos de Sólidos Totales y Sólidos Suspendidos Totales.

Se preparó concentraciones de caolín con los rangos de 200, 600, 1000, 10000 y 20000 mg/L.

La evaluación consiste en calcular un estadístico y compararlo con un valor tabulado esto para un 95% de confianza como se indica (Instituto Boliviano de Metrología, 2018). A continuación se utilizó la siguiente expresión:

Test de Grubbs (Evalúa la precisión de los valores)

$$G_{ij} = \frac{\bar{Y}_{ij} - \bar{\bar{Y}}_{ij}}{S_{ij}} \quad (1)$$

Dónde:

G_{ij} = es la G de Grubbs.

\bar{Y}_{ij} = es el promedio de las mediciones.

$\bar{\bar{Y}}_{ij}$ = es el promedio total de las mediciones.

S_{ij} = es la desviación estándar de las mediciones.

En base a los datos obtenidos en los ensayos se realizó el análisis estadístico determinado las siguientes especificaciones: ecuación de la recta de regresión, representación gráfica de la recta de regresión lineal. Los análisis de estimación lineal o regresión lineal se utilizan para hallar la función de respuesta de una recta de regresión del método analítico que se encuentra desarrollando.

$$y = bx + a \quad (2)$$

Dónde:

Y: respuesta de la medición

x : concentración del analito

b : pendiente, a : intercepto

Las concentraciones teóricas de los patrones se ubican en el eje de las abscisas (X), y las concentraciones experimentales de los patrones obtenidas por el método en el eje de las ordenadas (Y).

Pendiente, ordenada del origen y coeficiente de correlación.

El coeficiente de correlación es el primer estadístico de interés, corresponde al grado de concordancia entre las dos variables establecidas, conjuntamente con el valor de la pendiente y la ordenada del origen (Velasco, 2014).

Estos valores fueron hallados utilizando el método de mínimos cuadrados, aplicando las siguientes ecuaciones:

Para el cálculo de la pendiente (b) se usó la siguiente ecuación:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3)$$

La ecuación para la determinación la ordenada en el origen (a):

$$a = \bar{y} - m\bar{x} \quad (4)$$

Coeficiente de correlación (r) se calcula de la siguiente manera:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

Donde:

x = corresponden a los datos de concentración teóricas.

y = corresponden a los datos de concentración experimentales

\bar{x} = corresponde a la media del conjunto de datos de x.

\bar{y} = corresponde a la media del conjunto de datos de y.

Valor del estimador (t) Student

$$t_r = \frac{|r|\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-r^2)}} \quad (6)$$

Donde:

t_r = Valor del estimador t Student obtenido para el coeficiente de correlación

$|r|$ = Valor absoluto del coeficiente de correlación

$n-2$ = Numero de grados de libertad

r^2 = Valor del coeficiente de determinación

Se calculó un valor de t_r con $n-2$ grados de libertad y se compara con el valor tabulado de t para el nivel de confianza requerido ($\alpha = 0.05$), dos colas, en este caso para un "n".

3.3.3.2 Exactitud

Se realizó el análisis de exactitud a partir de los datos obtenidos en todo el rango lineal, en los distintos niveles como se mencionó en el punto 3.3.3.1.

Las diferentes concentraciones de caolín y de cloruro de potasio que fueron utilizados en los métodos, se utilizó el sesgo el cual fue empleando en dichos ensayos, el valor teórico es restado al valor hallado en los métodos de estudio, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$S = x - x_a \quad (7)$$

Donde:

S = sesgo

X = valos promedio de las lecturas obtenidas

X_a = valor asignado, valor certificado del material de referencia.

Para evaluar el sesgo, se debe realizar la prueba t, en la cual el $t_{cal} < t_{tab}$:

$$t_{cal} = \frac{|X_a - X|}{S \cdot \sqrt{n}} \quad (8)$$

Donde:

t_{cal} = t calculado.

X_a = Valor esperado o valor certificado en concentración.

X = Promedio de los valores leídos u observados en concentración.

S = Desviación estándar.

n = Números de lecturas o valores observados.

3.3.3.3 Precisión

La precisión de los métodos se evaluó según las concentraciones con sus respectivas repeticiones de cada método de estudio se tomó en cuenta los siguientes criterios de aceptación y su control de calidad de dichos métodos.

Para la determinación de la presión de los metodos en estudio se utilizó el criterio de aceptabilidad en base al coeficiente de variación de Horwitz:

$$\%CV_{HORWITZ} = 2^{1-(0.5 \cdot \log C)} \quad (9)$$

Donde:

$\%CV_{HORWITZ}$ = Coeficiente de Variación de Horwitz.

C = Concentración del analito expresado en decimales.

Para la determinación de control de calidad de HorRat se utilizó la siguiente ecuación:

$$HorRat = \frac{CV}{CV_{HORWITZ}} \quad (10)$$

Donde:

CV = Coeficiente de Variación de las mediciones realizadas

$CV_{HORWITZ}$ = Coeficiente de Variación de Horwitz.

3.3.3.4 Incertidumbre

La incertidumbre se realizó tomando en cuenta diferentes fuentes o componentes de las mediciones presentes en los métodos de estudio.

En este caso se realizó los cálculos de cada uno de los componentes para así finalmente determinar directamente la incertidumbre combinada y con ayuda del factor de cobertura se determine la incertidumbre expandida la cual nos indica la incertidumbre requerida de cada método trabajado.

3.3.3.4.1 Cálculo de la Incertidumbre del Material de porcelana o filtro

A. Incertidumbre correspondiente a la masa del crisol, filtro; m_c

Para el cálculo de esta incertidumbre primero se deben calcular la incertidumbre de la repetibilidad y la incertidumbre de la linealidad, como se muestra a continuación.

a. Incertidumbre de la repetibilidad de las pesadas:

Para calcular la incertidumbre de la repetibilidad se deben tomar mínimo tres mediciones de la masa del crisol, filtro y calcular lo siguiente:

1. Promedio o media se define como la suma de todos los datos entre el número total de datos, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (11)$$

Donde:

\bar{x} = Promedio o media de los datos

X_i = Cada uno de los datos

N = Número total de datos.

2. Desviación Estándar se define como la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de las diferencias de cada dato y su promedio, dividido entre el número total de datos menos 1, como se muestra a continuación.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (12)$$

Donde:

σ = Desviación Estándar

\bar{x} = Promedio o media de los datos

X_i = Cada uno de los datos

N = Número total de datos.

3. La incertidumbre se define como la desviación estándar dividida entre la raíz del número total de mediciones, como se muestra a continuación:

$$u_{rep} = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (13)$$

Donde:

U = Incertidumbre de la medición

S = Desviación Estándar

n = Número total de datos.

B. Incertidumbre de la linealidad de la balanza.

Para la estimación de la incertidumbre de la linealidad de la balanza, del certificado de calibración se extrae la incertidumbre del intervalo de trabajo y su factor de cobertura, para con esto, con la siguiente ecuación se puede obtener la incertidumbre final de la linealidad:

$$u_{lin} = \frac{U}{k} \quad (14)$$

Donde:

U_{lin} = Incertidumbre de la linealidad de la balanza

U = Incertidumbre del intervalo de trabajo, reporte en el certificado de calibración.

k = Factor de cobertura.

C. Incertidumbre combinada de la masa del crisol o (filtro) m_c .

Calculadas las incertidumbres anteriores, se procede a calcular la incertidumbre combinada de m_c (U_{mc}), esto de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$u_{mc} = \sqrt{(u_{rep})^2 + (u_{lin})^2} \quad (15)$$

3.3.3.4.2 Cálculo de la Incertidumbre del Material Volumétrico

A. Incertidumbre correspondiente (Probeta de 50, 100 y 1000 ml), (Balón Aforado de 1000 ml).

Para el cálculo de la incertidumbre del material volumétrico se deben calcular la incertidumbre del error permisible (tolerancia), la incertidumbre por resolución y la incertidumbre de la temperatura.

A continuación, se desarrolla las siguientes ecuaciones para dicha mediciones:

1. Para el cálculo de la incertidumbre del error permisible (Tolerancia) del material volumétrico se debe tomar en cuenta la calibración del material y dividirlo entre raíz de tres:

$$u_{tol} = \frac{Tol}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

Donde:

U_{tol} = Incertidumbre por la tolerancia del material volumétrico

Tol = Tolerancia \pm (ml)

2. para el cálculo de la incertidumbre por resolución del material de debe tomar en cuenta la resolución del material calibrado según su especificación del material y dividirlo entre dos por raíz de tres, como se demuestra a continuación:

$$u_{resol} = \frac{Resolucion}{2\sqrt{3}} \quad (17)$$

Donde:

Resolución: Factor límite e la exactitud de las medidas (mg)

3. para el cálculo de la incertidumbre por temperatura se calcula con los siguientes datos requeridos:

$$u_{tem} = \frac{(T_{cal} - T_{amb}) * C * V}{\sqrt{3}} \quad (18)$$

Donde:

C = Coeficiente de expansión térmica del agua

T_{cal} = Temperatura de calibración de las probetas utilizadas

T_{amb} = Temperatura ambiental (°C)

V = Volumen medido en (ml).

B. Incertidumbre combinada del m_v.

Calculadas las incertidumbres anteriores, se procede a calcular la incertidumbre combinada de m_c (U_{mv}), esto de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$u_{mv} = \sqrt{(u_{tol})^2 + (u_{resol})^2 + (u_{tem})^2} \quad (19)$$

3.3.3.4.3 Cálculo de la Incertidumbre de la Estufa

Para el cálculo de la incertidumbre de la estufa se deben calcular la incertidumbre de la calibración del instrumento e incertidumbre por resolución.

A continuación, las ecuaciones para las incertidumbres en estudio:

1. Para la incertidumbre de la calibración del instrumentó se debe tomar las especificaciones de dicho instrumento y dividirlo entre el factor de cobertura, esto de acuerdo en la siguiente ecuación:

$$u_{calinstrumento} = \frac{u_{certificado\ de\ calibracion}}{k} \quad (20)$$

2. Para el cálculo de incertidumbre por resolución del instrumentó se debe tomar las especificaciones de dicho instrumento y dividirlo entre dos por la raíz de tres, esto de acuerdo en la siguiente ecuación:

$$U_{resolucion} = \frac{Resolucion}{2*\sqrt{3}} \quad (21)$$

A. Incertidumbre combinada de la Estufa

Calculadas las incertidumbres anteriores, se procede a calcular la incertidumbre combinada de la estufa (U_{estufa}), esto de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$U_{estufa} = \sqrt{(U_{calinstrumento})^2 + (U_{resolucion})^2} \quad (22)$$

A) Determinación de coeficientes de sensibilidad.

Debido a la determinación de sólidos de forma indirecta es necesario calcular los coeficientes de sensibilidad.

Se tiene las siguientes derivadas:

1. coeficiente de cesibilidad de la masa de crisol o filtro:

$$C_p = \frac{\partial ST}{\partial m_c} = - \frac{1}{V} \quad (23)$$

Donde:

V = Volumen de la muestra tomada.

Cálculo de la contribución de la incertidumbre combinada para sólidos.

Una vez obtenidos todas las incertidumbres de las diferentes fuentes de medición, se realiza la siguiente ecuación:

$$U_{solidos} = \sqrt{\left[\frac{\partial ST}{\partial m_c} (U_{mc})\right]^2 + \left(\frac{U_{mv}}{V}\right)^2 + \left(\frac{U_{estufa}}{T}\right)^2 + \left(\frac{U_{MRC}}{MRC}\right)^2} \quad (24)$$

Una vez ya calculado la incertidumbre combinada de los sólidos se debe multiplicar por el factor de cobertura con un nivel de confianza de aproximadamente 95%, como se muestra con la siguiente ecuación para así obtener la incertidumbre expandida de los métodos en estudio:

$$U_{\text{expandida}} = U_{\text{combinada}} * K \quad (25)$$

Dónde:

U es la incertidumbre expandida,

U combinada es la incertidumbre estándar combinada,

K es el factor de cobertura.

3.3.4 Desarrollo de las metodologías en las aguas de riego

Los métodos de estudio se pudieron desarrollar en algunas aguas que se usa para la agricultura, también se desarrolló para el análisis de las aguas de las Estaciones Experimentales de la Facultad de Agronomía como ser: Estación Experimental de Cota Cota, Estación Experimental de Patacamaya y Estación Experimental de Choquenaira. Y las otras aguas fueron: Rio Irpavi (rio abajo), Vertiente de Chicani y Avircato.

3.3.5 Análisis económico

Se realizó el análisis de costos parciales tomando en cuenta el costo de los materiales, de los filtros usados en cada muestra de agua, y se realizó una proyección de costos tomando en cuenta el personal, los ambientes, mantenimiento del equipo, el desgaste de los materiales y la utilidad en función a una planilla de cálculo Excel.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Validación del Método de Sólidos Totales (ST)

4.1.1 Determinación de la linealidad del sistema (ST)

En base a los datos (Anexo 1), se realizó la evaluación de los datos singulares mediante el test de Grubbs al 95 % de confiabilidad, de acuerdo con la Figura 10, podemos observar que los valores de G-experimentales, y las concentraciones de caolín (200, 600, 1000, 10000, 20000 mg/L), no exceden al valor de G-tabulado 1.938, como se observa en el Gráfico 1, lo que significa que no se encontró valores singulares aceptado los valores experimentales de caolín para los Sólidos Totales determinado así la Linealidad del sistema, se cumpliendo lo establecido por el (Instituto Boliviano de Metrología, 2018).

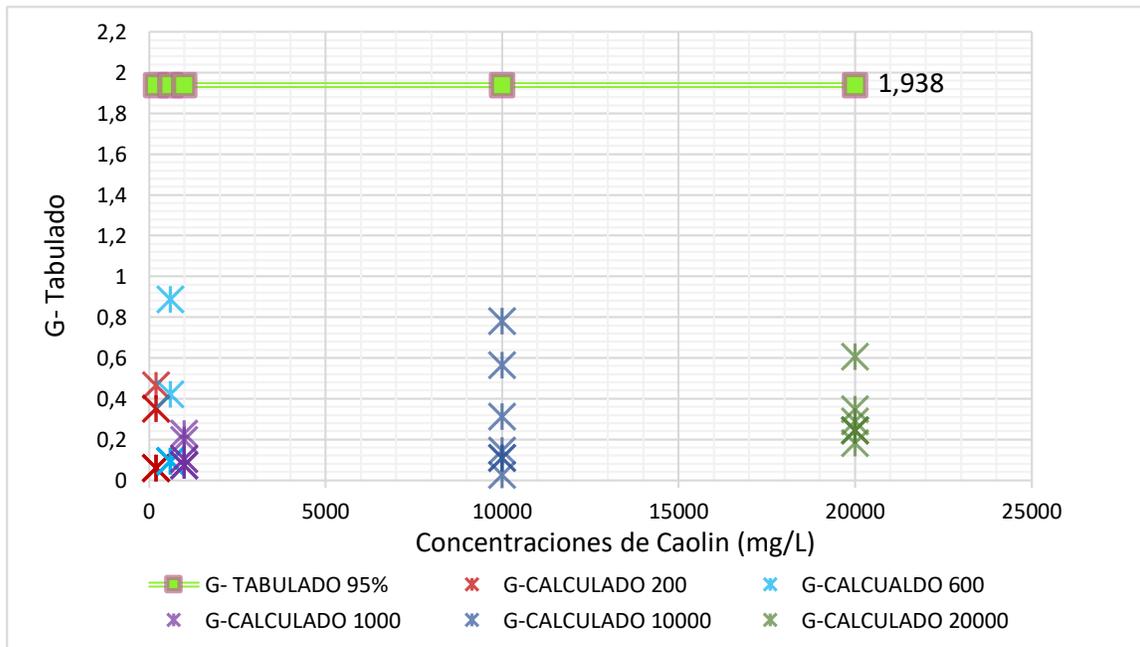


Figura 10. Evaluación de los valores experimentales método de Sólidos Totales

En la Tabla 6, se puede observar los datos con los cuales se trabajó para la evaluación de Grubbs de las diferentes concentraciones que se utilizó, en función a estos promedio se pudo graficar la linealidad en forma ascendente, vale la pena decir que para obtener esos resultados se realizó múltiples ensayos de prueba.

Tabla 6. Valores experimentales de Solidos Totales

Niveles	Concentraciones Teóricas de ST	Concentraciones Experimentales de ST
1	200	200,476
2	600	600,952
3	1000	1058,571
4	10000	10380,952
5	20000	20380,952

En la Figura 11. Podemos observar la linealidad del sistema del método Solidos Totales.

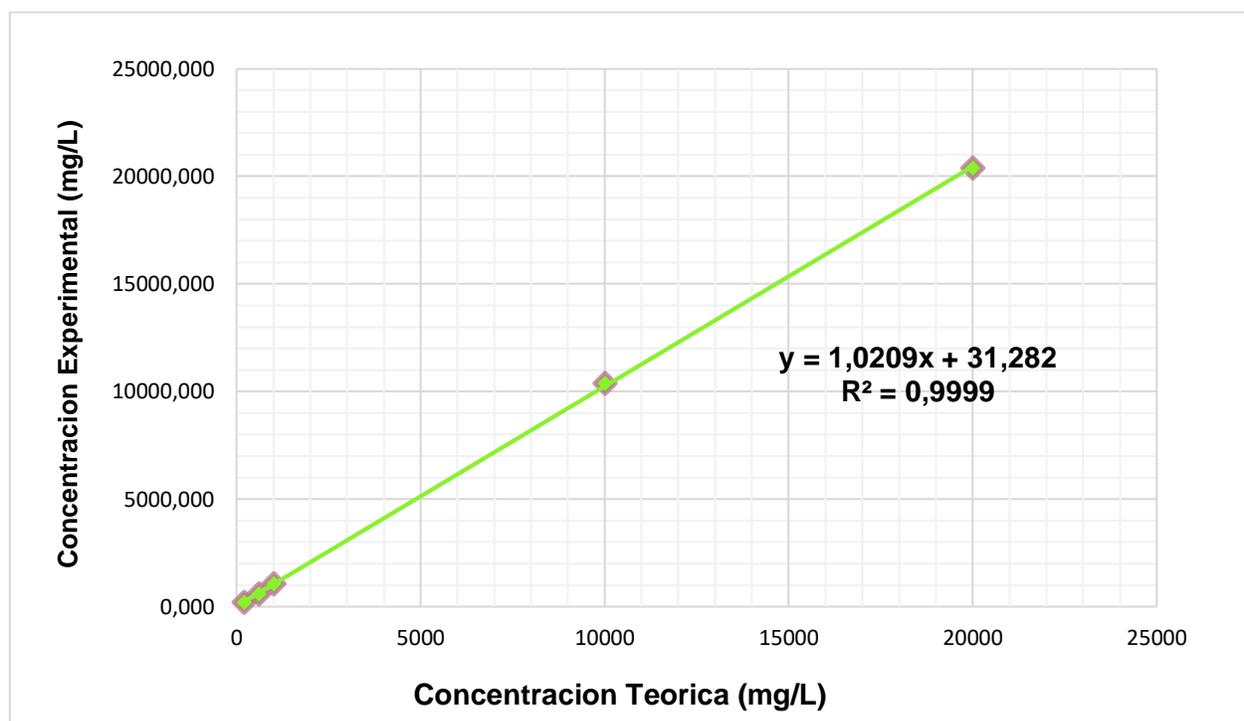


Figura 11. Linealidad del sistema método Solidos Totales

En la siguiente Tabla 7, se muestra el resumen de los resultados estadísticos del parámetro de Linealidad del método Solidos Totales.

Tabla 7. Resumen de los resultados estadísticos de la linealidad del sistema de Sólidos Totales

Parámetros	Resultados método ST	Criterios de aceptación
Coeficiente de correlación (r)	0,99996	$r \geq 0,9993$
Coeficiente de determinación (r) ²	0,99991	$r^2 \geq 0,9999$
Intercepto (a)	31,282	$a \neq 0$
Pendiente (b)	1,021	b cercano a 1
<i>T_{exp}</i>	184,2328611	$t_{exp} > t_{tab}$
<i>T_{tab}</i>	3,182	

De acuerdo a la función de los resultados de la Tabla 7, podemos señalar que existe un alto grado de correlación entre la concentración teórica de Sólidos Totales (mg/L) y la concentración experimental de Sólidos Totales (mg/L), cumpliéndose los criterios de aceptación de los indicadores de linealidad tal como establece la guía de validación (Eurachem, 2005), en tal sentido se muestra que el método de Sólidos Totales nos da resultados lineales en el intervalo de 200 a 20000 mg/L.

4.1.2 Exactitud (ST)

Veracidad

A partir de obtención de los datos del (Anexo 5), se realizó los cálculos de las concentraciones de caolín (200, 600, 1000, 10000, 20000 mg/L), para la evaluación de la veracidad del método, se trabajó con la prueba de t Student, indicando que *t_{tab}* tiene un valor de 2,447, sabiendo que los resultados de las concentraciones no exceden al t Student, para un nivel de confianza de 95%, por lo que podemos decir que la metodología empleada reportan resultados exactos como se observa en la Figura 12.

Se realizó la evaluación siguiendo todos los pasos que se describió, en el siguiente gráfico se demuestra que cumple, los resultados estadísticos con las que se calculó la veracidad del método de Sólidos Totales.

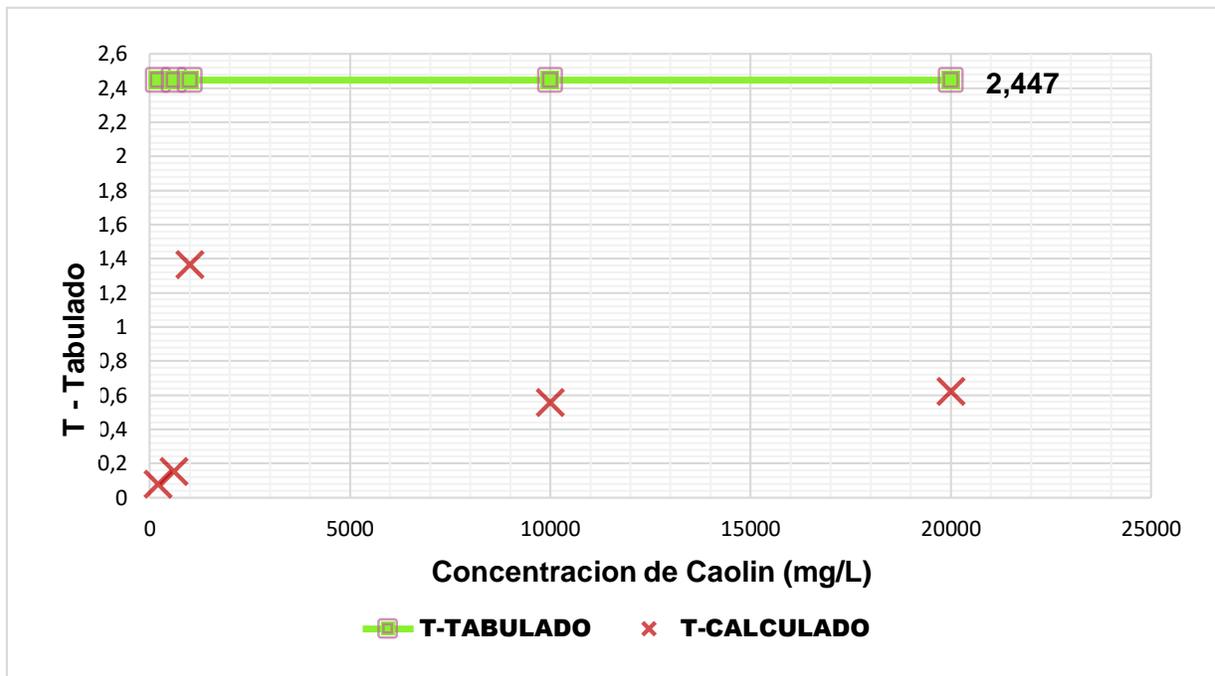


Figura 12. Evaluación de la Veracidad del sistema de Sólidos Totales

4.1.3 Precisión (ST)

En la Tabla 8, se indica que el coeficiente de variación de la Repetibilidad es $CV < 10\%$ así establecido por la norma (NB/ISO 5725-2:2017), por otro lado se muestran los niveles de control de calidad de HorRat verificándose que el coeficientes de variación de Sólidos Totales (mg/L), se encuentra en la zona aceptable ($HorRat < 2$), que significa que hay homogeneidad en las muestras indicando un buen desempeño del método (Rivera O., 2010).

Tabla 8. Resumen del Criterio de Aceptación de HorRat de Sólidos Totales

Niveles	CV<10%	CV HorRat	Criterio de Aceptacion de HorRat
1	1,146	0,636	CUMPLE
2	0,774	0,507	CUMPLE
3	1,53	1,091	CUMPLE
4	1,938	1,946	CUMPLE
5	1,382	1,539	CUMPLE

Podemos observar la precisión del sistema del método Sólidos Totales en la Figura 13.

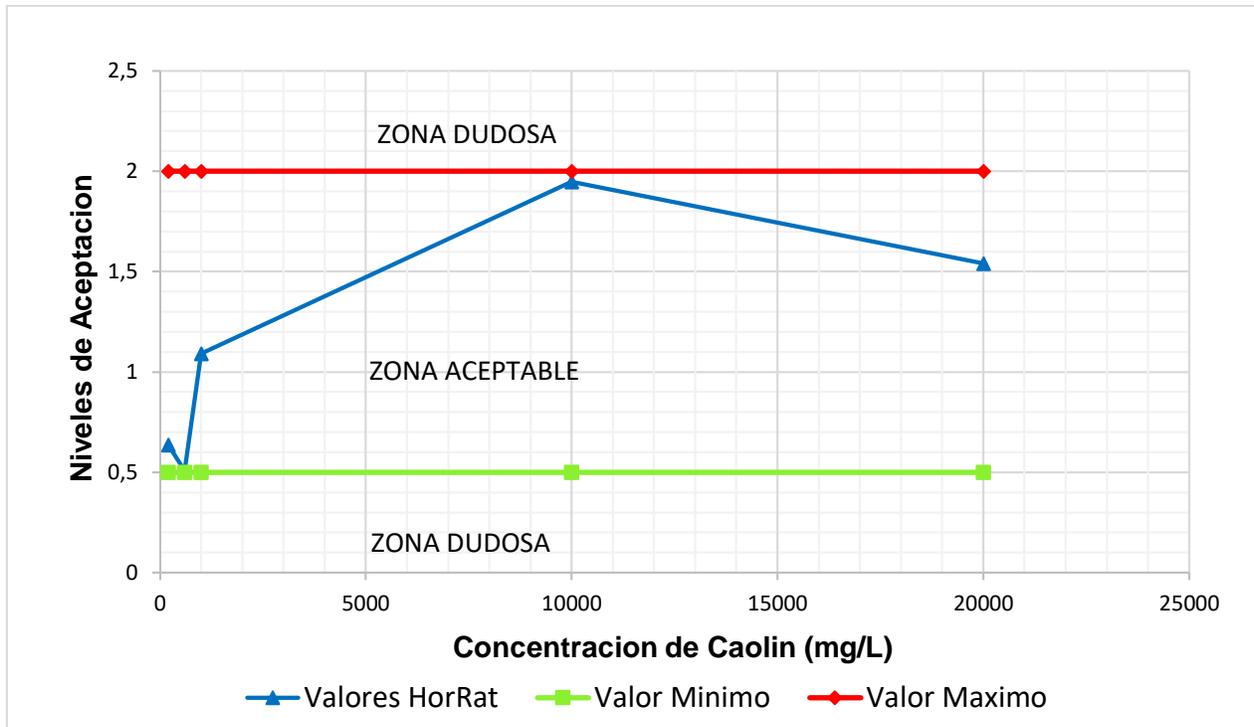


Figura 13. Control de HorRat del método de Sólidos Totales

4.1.4 Incertidumbre (ST)

Para la evaluación de la incertidumbre se puede observar el diagrama de espina de pescado (Diagrama de Ishikawa), donde se realizó las determinaciones de las diferentes fuentes o componentes de la incertidumbre de las mediciones presentes en el método de Sólidos Totales, en la Figura 14, se puede observar con más detalle los componentes que utilizamos para dicha medición, que permitirá con facilidad identificar las fuentes de incertidumbre presentes durante el proceso analítico.

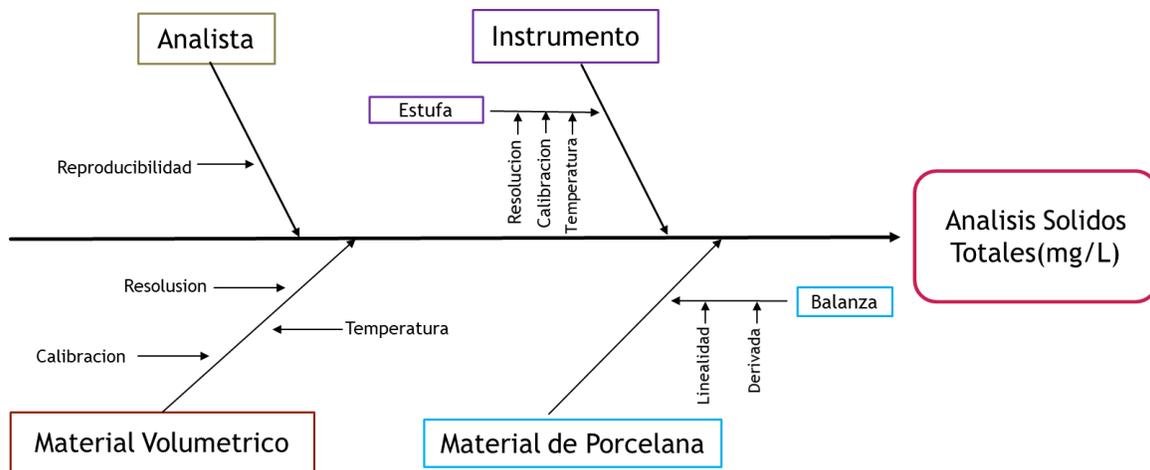


Figura 14. Diagrama de Ishikawa para el cálculo de la incertidumbre del método de Sólidos Totales

Estimación de la incertidumbre en base a datos de validación

A. Estimación de la Incertidumbre del Material de Porcelana

En la Tabla 9, podemos observar el resumen de los datos, de los cuales se puede determinar la incertidumbre en función de los pesos del crisol, desviación estándar y utilizado la linealidad de la balanza con la cual se trabajó, así mismo se utilizó el factor de cobertura con un nivel de confianza del 95%. La cual su incertidumbre es de 0.0208.

Tabla 9. Incertidumbre del Material de Porcelana

<i>P.mc (gr)</i>	<i>S. mc</i>	<i>n. mc</i>	<i>u. mc</i>	<i>Lin. Bal</i>	<i>u. bal</i>	<i>u.comb</i>	<i>u. exp</i>
126,96	0,007868	7	0,0029738	0,02	0,01	0,0104328	0,0208656

Donde:

P_{mc} = Promedio de los pesos de la masa del crisol

S_{mc} = Desviación Estándar de la masa del crisol

n_{mc} = Número de veces pesado

u_{mc} = Incertidumbre de la masa del crisol

Lin.Bal= Linealidad de la Balanza

u_{bal} = Incertidumbre de la Balanza

u_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

u_{exp} = Incertidumbre expandida de la masa del crisol.

B. Estimación de la Incertidumbre del Material de Volumétrico

Para la estimación de la incertidumbre del material volumétrico se tomó en cuenta, los siguientes materiales: probeta de 1000 ml, probeta de 50 ml y balón aforado de 1000 ml. A continuación, se podrá observar el resumen de los datos, en función a su error permisible o tolerancia, su resolución del material y la temperatura del material.

Tabla 10. Incertidumbre del Balón Aforado de 1000 (ml)

<i>Tolerancia</i>	<i>U(tolerancia)</i>	<i>U resolución</i>	<i>U temp</i>	<i>U comb</i>	<i>U exp</i>
0,4	0,23094011	0,00028868	0,36373067	0,43085197	0,86170393

Donde:

Tolerancia = límite de error (es un valor establecido por las normas)

U_{tol} = Incertidumbre de la Tolerancia

$U_{resolución}$ = Incertidumbre por resolución

$U_{temp.}$ = Incertidumbre de la temperatura del material del vidrio

U_{comb} = Incertidumbre estándar combinada,

u_{exp} = Incertidumbre expandida del balón aforado.

Tabla 11. Incertidumbre de la Probeta de 1000 (ml)

<i>Tolerancia</i>	<i>U (tolerancia)</i>	<i>U resolución</i>	<i>U temp</i>	<i>U comb</i>	<i>U exp</i>
5	2,5	0,00028868	0,36373067	2,52632145	5,05264291

Tabla 12. Incertidumbre de la Probeta de 50 (ml)

<i>Tolerancia</i>	<i>U (tolerancia)</i>	<i>U resolución</i>	<i>U temp</i>	<i>U comb</i>	<i>U expa</i>
0,5	0,25	0,00028868	0,01818653	0,25066079	0,50132159

En la Tabla 10, 11 y 12, las incertidumbres calculadas son de, 0.8617, 5.0526 y 0.5013 respectivamente.

C. Estimación de la Incertidumbre de la Estufa

En la Tabla 13, se puede observar el resumen de los datos, lo cual está basado en la precisión del ajuste del instrumento y su resolución. El instrumento utilizado es marca MEMMERT modelo 400. Por lo tanto, tenemos una incertidumbre de 0.7637.

Tabla 13. Incertidumbre de la Estufa

<i>Precisión</i>	<i>U precisión</i>	<i>Resolución</i>	<i>U resolución</i>	<i>U comb</i>	<i>U exp</i>
0,5	0,25	0,5	0,2886751	0,3818813	0,7637626

Donde:

Precision = Precisión de ajuste en (°C)

$U_{\text{precision}}$ = Incertidumbre de la precisión

Resolucion = Resolución de la indicación del instrumento

$U_{\text{resolucion}}$ = Incertidumbre de la resolución

U_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

U_{exp} = Incertidumbre expandida del balón aforado

D. Combinación de las fuentes de incertidumbre

En la Tabla 14, podemos ver el resumen de todas las fuentes de incertidumbre, dando como resultado la incertidumbre total de $u_c = 0,000201$.

Tabla 14. Incertidumbre combinada del método de Sólidos Totales

<i>U mc</i>	<i>U balón</i>	<i>U probeta</i>	<i>U probeta</i>	<i>U estufa</i>	<i>U comb</i>
1,74E-07	7,43E-13	2,55E-11	4,02E-08	1,21E-05	2,01E-04

Donde:

U mc = Incertidumbre de la masa del crisol

U balón = Incertidumbre del Balón Aforado de (1000 ml)

U probeta = Incertidumbre de la Probeta de (1000 ml)

U probeta = Incertidumbre de la Probeta de (50 ml)

U estufa = Incertidumbre de la Estufa

U comb = Incertidumbre combinada de todas las fuentes de incertidumbre de Sólidos Totales.

E. Incertidumbre expandida del método de Sólidos Totales

Podemos observar en la Tabla 15, una incertidumbre expandida de $U_{exp} = 0,00700$, esto significa que el método analizado, proporciona resultados de Sólidos Totales en las muestras de agua de riego es de $\pm 0.00700\%$ ST

Tabla 15. Incertidumbre expandida del método Sólidos Totales

<i>U c</i>	<i>K</i>	<i>U exp</i>
0,0035024	2	0,0070048

Donde:

Uc: es la incertidumbre relativa combinada de todas las fuentes de incertidumbre,

K: es el factor de cobertura

Uexp: es la incertidumbre expandida del método Sólidos Totales

En la Figura 15, observamos que la mayor incertidumbre es de la estufa pero como vemos no es significativo al igual que las otras incertidumbres.

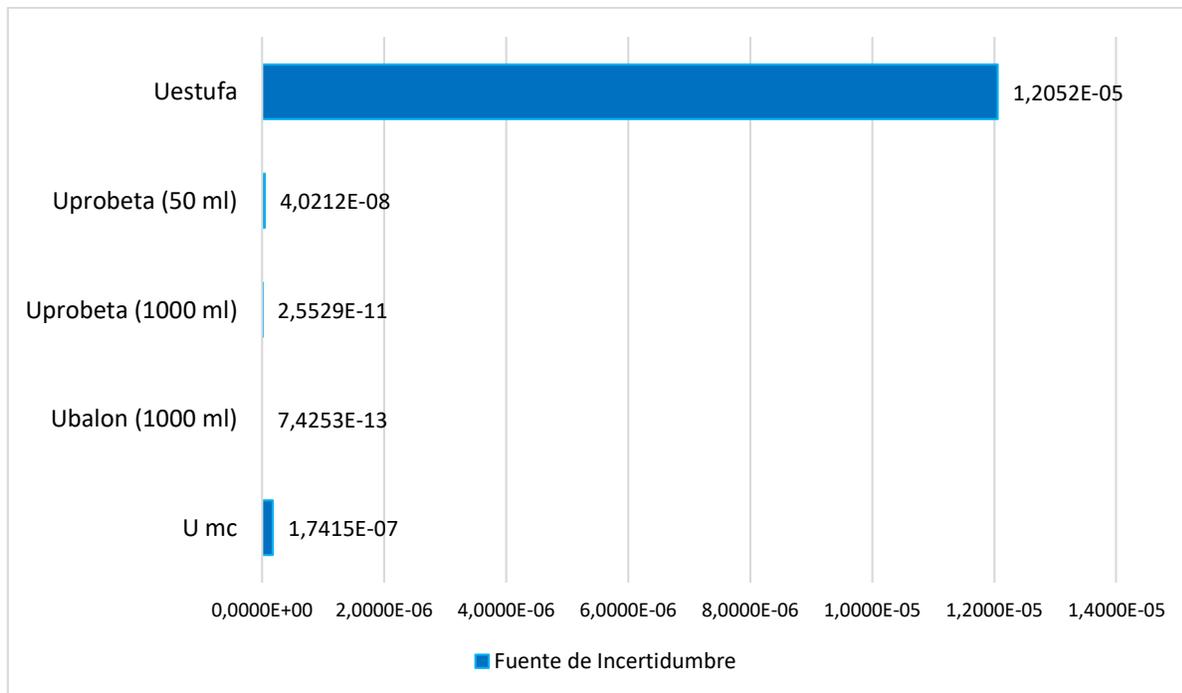


Figura 15. Fuentes de Incertidumbre del método de Solidos Totales

4.2 Validación del Método de Solidos Suspendidos Totales (SST)

4.2.1 Determinación de la linealidad del sistema (SST)

Una vez obtenido los datos en el (Anexo 2), se evaluó los siguientes datos mediante el test de Grubbs al 95 % de confiabilidad, de acuerdo con la Figura 16, podemos observar que los valores de G-experimentales, y las concentraciones de caolín (200, 600, 1000, 10000, 20000 mg/L), no exceden al valor de G-tabulado de 1,938, lo que significa que no se encontró valores anómalos. Los Solidos Suspendidos Totales para así poder determinar la Linealidad del sistema, de esta manera determinamos que la metodología cumple con lo establecido por (Instituto Boliviano de Metrología, 2018).

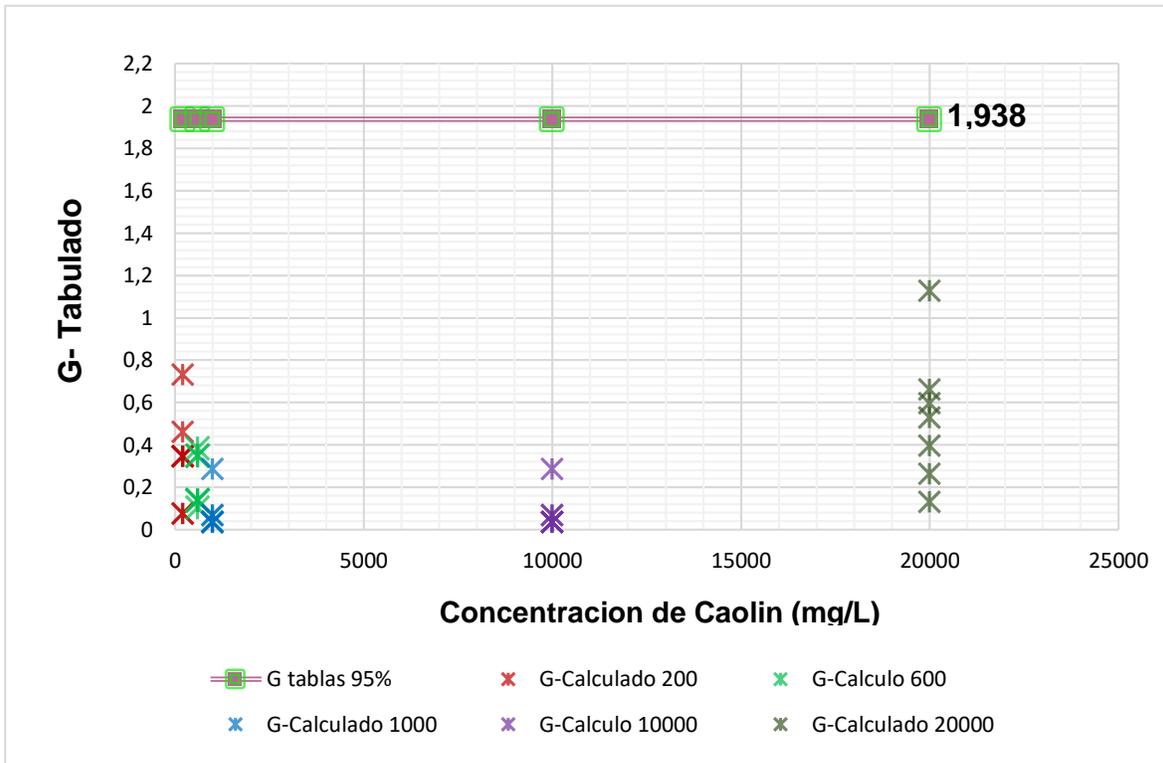


Figura 16. Evaluación de los valores experimentales método de Solidos Suspendidos Totales

En la Tabla 16, se observa los datos con los cuales se trabajó para la evaluación de G-Grubbs de las diferentes concentraciones de caolín, en función a estos promedios se graficar la linealidad en forma ascendente, vale la pena decir que para obtener esos resultados se realizó múltiples pruebas de dicho método de estudio.

Tabla 16. Valores experimentales de Solidos Suspendidos Totales

Niveles	Concentraciones Teóricas de SST	Concentraciones Experimentales de SST
1	200	204,286
2	600	605,238
3	1000	1062,857
4	10000	10176,190
5	20000	20600,000

Observamos la linealidad del sistema del método Solidos Suspendidos Totales en la Figura 17.

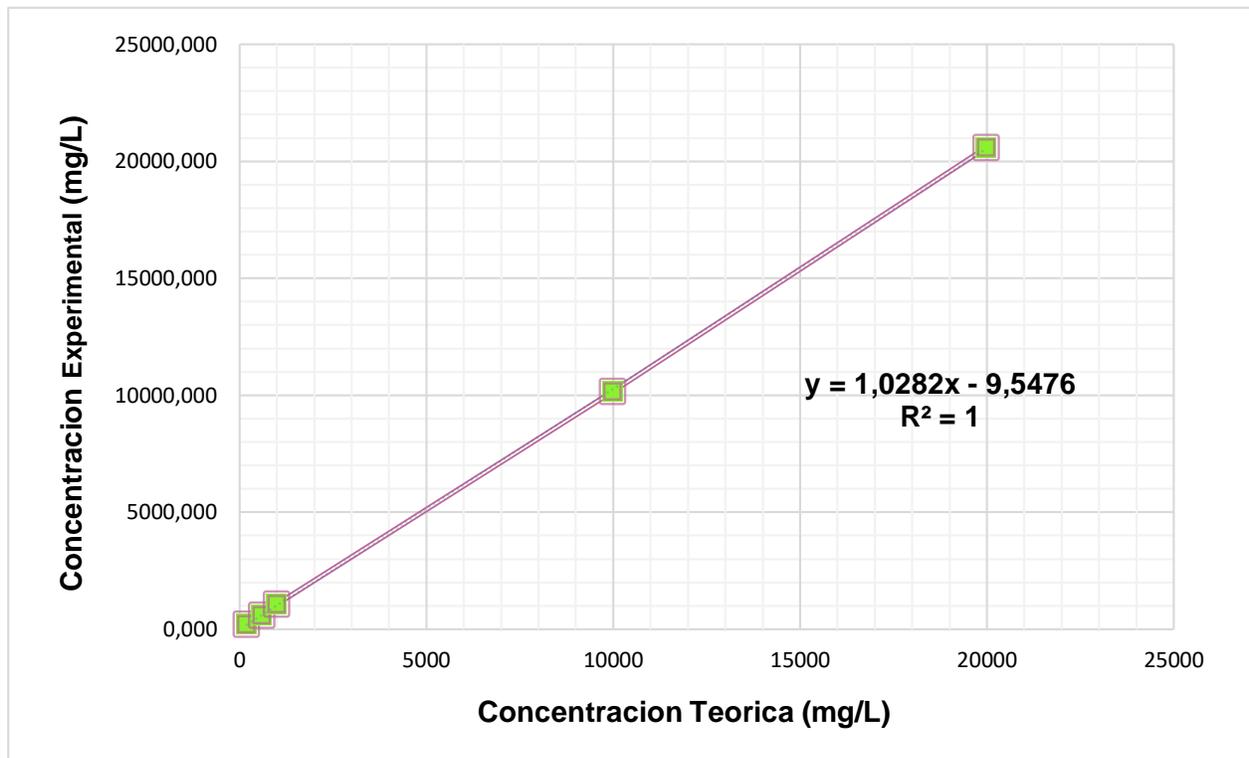


Figura 17. Linealidad del sistema método Solidos Suspendidos Totales

En la siguiente Tabla 17, se muestran los resultados estadísticos del parámetro de Linealidad del método Solidos Suspendidos Totales.

Tabla 17. Resumen de los resultados estadísticos de la linealidad del sistema de Solidos Suspendidos Totales

Parámetros	Resultados método SST	Criterios de aceptación
Coeficiente de correlación (r)	0,99998	$r \geq 0,9993$
Coeficiente de determinación (r) ²	0,99996	$r^2 \geq 0,9999$
Intercepto (a)	9,548	$a \neq 0$
Pendiente (b)	1,028	b cercano a 1
<i>T_{exp}</i>	266,420	$t_{exp} > t_{tab}$
<i>T_{tab}</i>	3,182	

De acuerdo a la función de los resultados de la Tabla 17, se verificó que existe un alto grado de correlación entre la concentración teórica de caolín y la concentración experimental, cumpliendo así con los criterios de aceptación de los indicadores de

linealidad tal como establece la guía de validación (Eurachem, 2005), en tal sentido se muestra que el método de Solidos Suspendidos Totales nos da resultados lineales en el intervalo de 200 a 20000 mg/L.

4.2.2 Exactitud (SST)

4.2.2.1 Veracidad

A partir de obtención de los datos del (Anexo 6), se realizó los cálculos de las concentraciones de caolín (200, 600, 1000, 10000, 20000 mg/L), para la evaluación de la veracidad del método, se trabajó con la prueba de t Student a un 95% obteniendo valores menores al 2,447, por lo que los datos está dentro del límite permisible.

Se realizó la evaluación siguiendo todos los pasos que se describió (3.3.3.1), la Figura 18 muestra que cumple, los resultados estadísticos con las que se calculó la veracidad del método de Solidos Suspendidos Totales.

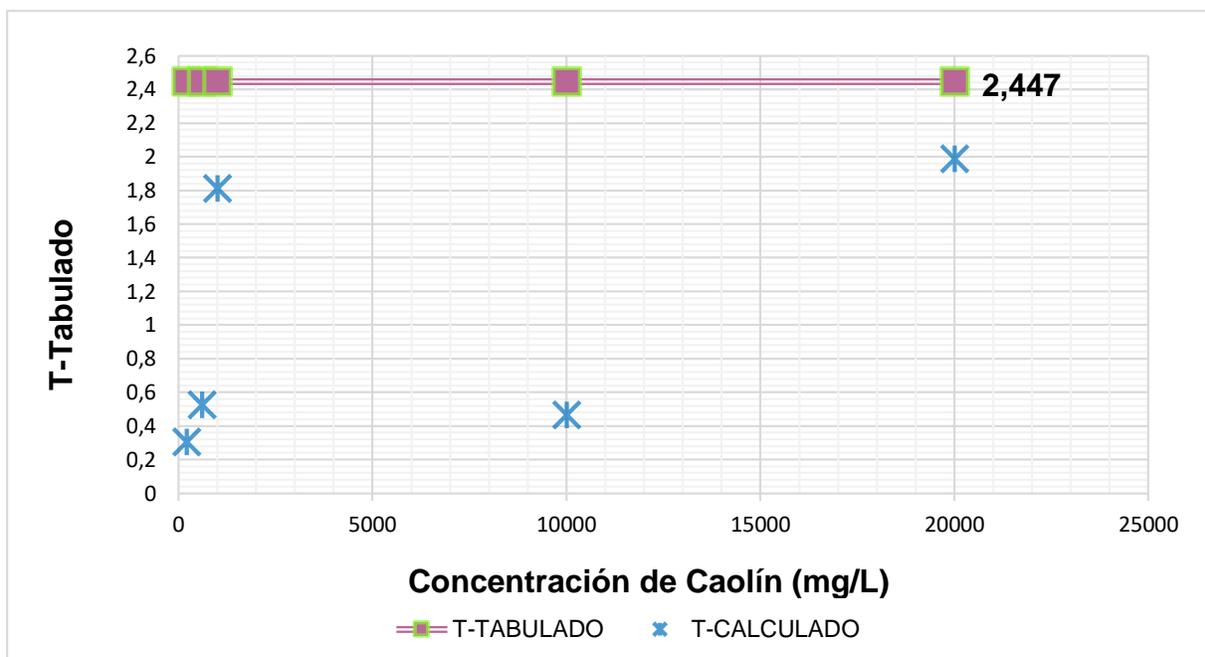


Figura 18. Evaluación de la Veracidad del sistema de Solidos Suspendidos Totales

4.2.2.2 Sesgo

Para la evaluación del sesgo, se realizó a partir de material de referencia certificado (MRC), con los datos obtenidos, se evaluó con la prueba de t Student, lo que nos indica de $t_{cal} < t_{tab}$, con un nivel de confianza del 95%, por lo que podemos decir que la metodología empleada reportan resultados exactos. Observado en la Tabla 18.

Tabla 18. Sesgo del Material de Referencia Certificado

Xa	Promedio	S	n	t cal	t tab
7,710	6,728	1,054	6,000	2,281	2,571

Donde:

Xa = Material de Referencia Certificado (MRC)

Promedio = Promedio de los ensayos del MRC

S= Desviación Estándar de los ensayos

n = Número de veces de los ensayos

tcal = "t" calculado

ttab= "t" tabulado.

4.2.3 Precisión (SST)

En la Tabla 19, se indica que el coeficiente de variación de la Repetibilidad ($CV < 10\%$) así establecido por la norma (NB/ISO 5725-2:2017), se muestra los niveles de control de calidad de HorRat verificándose en los niveles de Solidos Suspendidos Totales expresado en (mg/L), la cual se encuentra en la zona aceptable ($HorRat < 2$), lo que indica que existe homogeneidad en las muestras con un buen desempeño del método (Rivera O., 2010).

Tabla 19. Resumen del Criterio de Aceptación de HorRat de Solidos Suspendidos Totales

Niveles	CV <10%	CV HorRat	Criterio de Aceptación de HorRat
1	2,616	1,457	CUMPLE
2	0,625	0,410	EXCELENTE
3	1,234	0,881	CUMPLE
4	1,412	1,415	CUMPLE
5	0,802	0,897	CUMPLE

En el caso de la concentración de 600 mg/L de Solidos Suspendidos Totales está en la zona dudosa (HorRat<0.5), indicando promedios no reportados o excelente entrenamiento y experiencia en el método analítico estudiado cumpliéndose el criterio de control de calidad establecido por (Rivera O., 2010). Podemos observar la precisión del sistema del método Solidos Suspendidos Totales en la Figura 19.

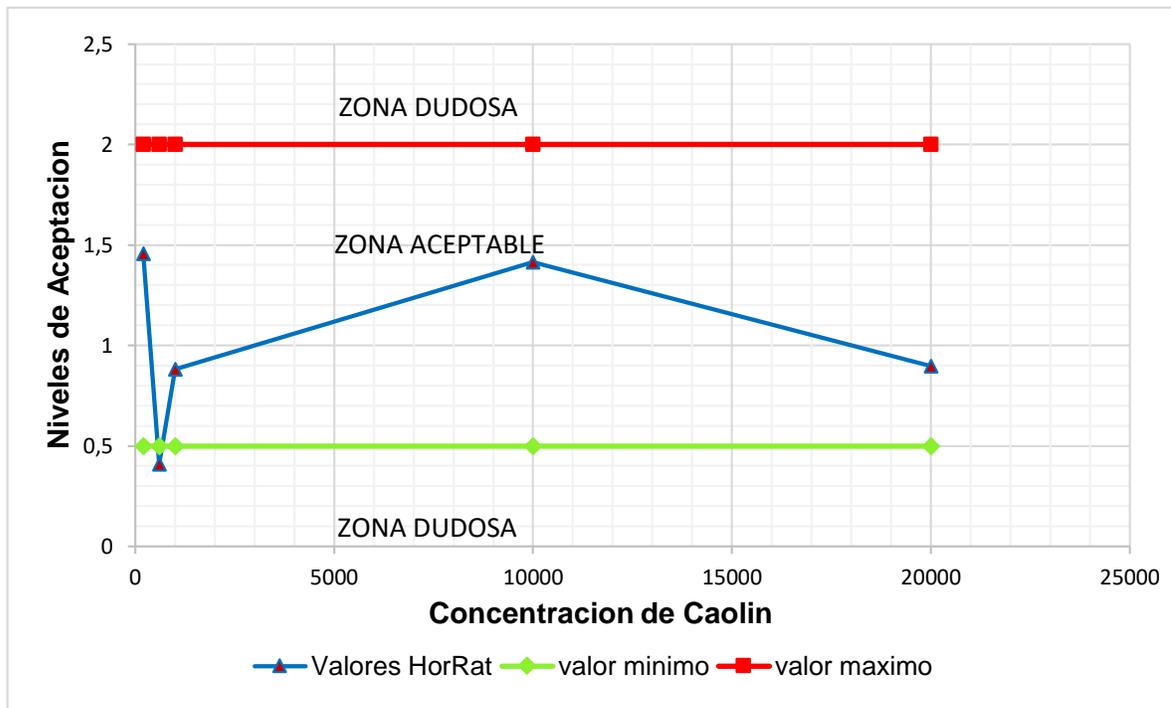


Figura 19. Control de HorRat del método de Solidos Suspendidos Totales

4.2.4 Incertidumbre (SST)

Para la evaluación de la incertidumbre se puede observar el diagrama de espina de pescado (Diagrama de Ishikawa), donde se realizó las determinaciones de las diferentes fuentes o componentes de la incertidumbre de las mediciones presentes en el método de Sólidos Suspendidos Totales, en la Figura 20, se observa con más detalle los componentes que utilizamos para dicha medición, que permitirá con facilidad identificar las fuentes de incertidumbre presentes durante el proceso analítico.

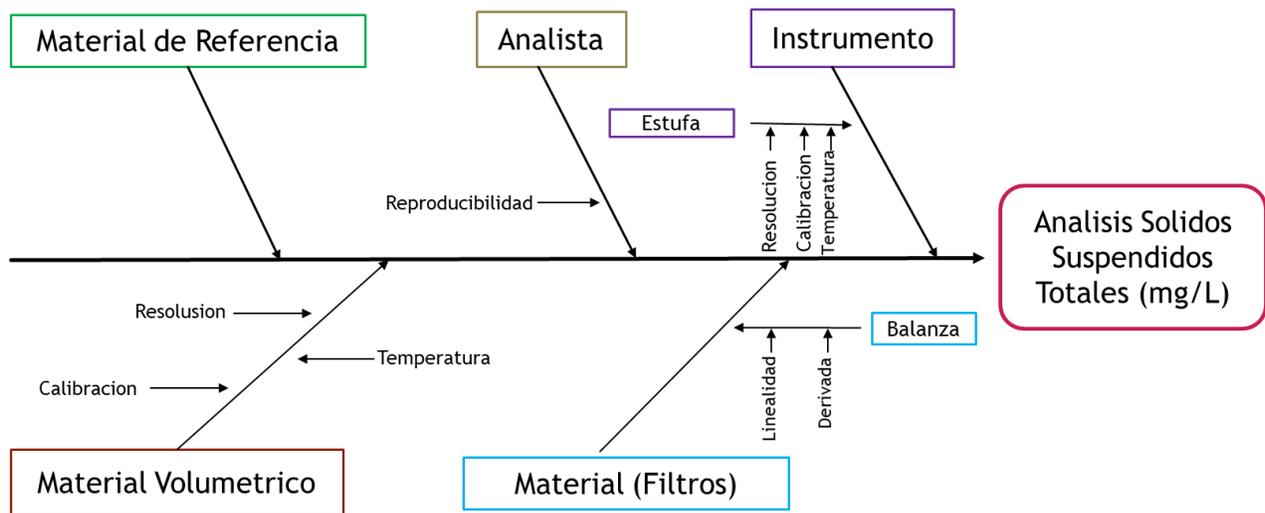


Figura 20. Diagrama de Ishikawa para el cálculo de la incertidumbre del método de Sólidos Suspendidos Totales

Estimación de la incertidumbre en base a datos de validación

A. Estimación de la Incertidumbre del Material de Filtros de Fibra de Vidrio

En la tabla 20, podemos observar el resumen de los datos, de los cuales se puede determinar la incertidumbre en función de los pesos de los filtros, desviación estándar y utilizando la linealidad de la balanza con la cual se trabajó, así mismo se utilizó el factor de cobertura con un nivel de confianza del 95%. La cual su incertidumbre es de 0.01154.

Tabla 20. Incertidumbre de Filtros de Fibra de Vidrio

<i>P.mc (gr)</i>	<i>S. mc</i>	<i>n. mc</i>	<i>u. mc</i>	<i>Lin. Bal</i>	<i>u. bal</i>	<i>u.comb</i>	<i>u. exp</i>
1,66	0,01	3	0,0057735	0,0003	0,00015	0,0057735	0,0115471

Donde:

P_{mc} = Promedio de los pesos del filtro de fibra de vidrio

S_{mc} = Desviación Estándar del filtro de fibra de vidrio

n_{mc} = Número de veces pesado

u_{mc} = Incertidumbre del filtro de fibra de vidrio

Lin.Bal= Linealidad de la Balanza

u_{bal} = Incertidumbre de la Balanza

u_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

u_{exp} = Incertidumbre expandida del filtro de fibra de vidrio.

B. Estimación de la Incertidumbre del Material de Volumétrico

Para la estimación de la incertidumbre del material volumétrico se tomó en cuenta, los siguientes materiales: probeta de 1000 ml, probeta de 100 ml y balón aforado de 1000 ml. A continuación, se podrá observar el resumen de los datos, en función a su error permisible o tolerancia, su resolución del material y la temperatura del material.

Tabla 21. Incertidumbre del Balón Aforado de 1000 (ml)

<i>Tolerancia</i>	<i>U(tolerancia)</i>	<i>U resolución</i>	<i>U temp</i>	<i>U comb</i>	<i>U exp</i>
0,4	0,23094011	0,00028868	0,36373067	0,43085197	0,86170393

Donde:

Tolerancia = límite de error \pm (es un valor establecido por las normas)

U_{tol} = Incertidumbre de la Tolerancia

$U_{resolución}$ = Incertidumbre por resolución

$U_{temp.}$ = Incertidumbre de la temperatura del material del vidrio

U_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

U_{exp} = Incertidumbre expandida del balón aforado.

Tabla 22. Incertidumbre de la Probeta de 1000 (ml)

Tolerancia	U (tolerancia)	U resolución	U temp	U comb	U exp
5	2,5	0,00028868	0,36373067	2,52632145	5,05264291

Tabla 23. Incertidumbre de la Probeta de 100 (ml)

Tolerancia	U (tolerancia)	U resolución	U temp	U comb	U exp
0,5	0,25	0,00028868	0,03637307	0,25263231	0,50526462

En la tabla 21, 22 y 23, son mostradas las incertidumbres calculadas de, 0.8617, 5.0526 y 0.5052 respectivamente.

C. Estimación de la Incertidumbre de la Estufa

En la Tabla 24, se puede observar el resumen de los datos, lo cual está relacionado con la precisión del ajuste del instrumento y su resolución. El instrumento utilizado es marca MEMMERT modelo 400. Por lo tanto tenemos una incertidumbre de 0.7637.

Tabla 24. Incertidumbre de la Estufa

Precisión	U precisión	Resolución	U resolución	U comb	U exp
0,5	0,25	0,5	0,2886751	0,3818813	0,7637626

Donde:

Precisión = Precisión de ajuste en (°C)

$U_{precisión}$ = Incertidumbre de la precisión

Resolución = Resolución de la indicación del instrumento

$U_{\text{resolucion}}$ = Incertidumbre de la resolución

U_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

U_{exp} = Incertidumbre expandida del balón aforado

D. Combinación de las fuentes de incertidumbre

En la Tabla 25, podemos ver el resumen de todas las fuentes de incertidumbre, dando como resultado la incertidumbre total de $u_c = 2.06E-01$

Tabla 25. Incertidumbre combinada del método de Solidos Suspendidos Totales

<i>U mc</i>	<i>U balón</i>	<i>U probeta</i>	<i>U probeta</i>	<i>U estufa</i>	<i>U MRC</i>	<i>U comb</i>
1,33E-08	7,43E-13	2,55E-11	2,55E-09	1,21E-05	0,04252903	2,06E-01

Donde:

U_{mc} = Incertidumbre de la masa del filtro

$U_{\text{balón}}$ = Incertidumbre del Balón Aforado de (1000 ml)

U_{probeta} = Incertidumbre de la Probeta de (1000 ml)

U_{probeta} = Incertidumbre de la Probeta de (100 ml)

U_{estufa} = Incertidumbre de la Estufa

U_{comb} = Incertidumbre combinada de todas las fuentes de incertidumbre de Solidos Suspendidos Totales.

E. Incertidumbre expandida del método de Solidos Suspendidos Totales

Podemos observar en la Tabla 26, la incertidumbre expandida de $U_{\text{exp}} = 0.4125$, esto significa que el método analizado, proporciona resultados de Solidos Suspendidos Totales en las muestras de agua de riego es de $\pm 0.4125\%$ ST

Tabla 26. Incertidumbre expandida del método Solidos Suspendidos Totales

<i>U c</i>	<i>K</i>	<i>U exp</i>
0,20625494	2	0,41250988

Donde:

Uc: es la incertidumbre relativa combinada de todas las fuentes de incertidumbre,

K: es el factor de cobertura,

Uexp: es la incertidumbre expandida del método Solidos Suspendidos Totales.

En la Figura 21, podemos observar que la mayor fuente de incertidumbre es del material de referencia, pero al igual que las otras fuentes de incertidumbre no tienen valores significativos.

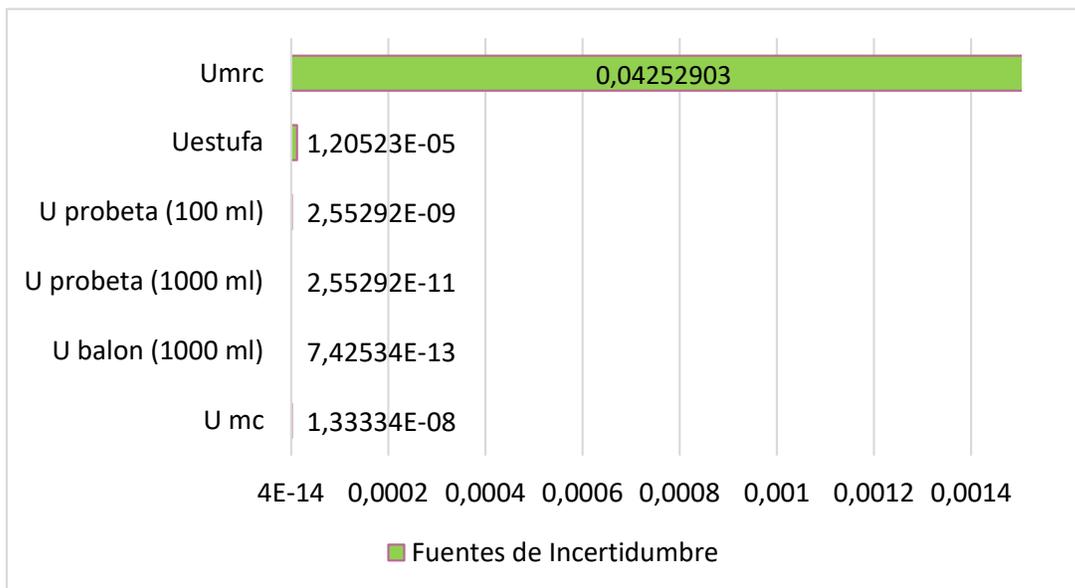


Figura 21. Fuentes de Incertidumbre del método Solidos Suspendidos Totales

4.3 Validación del Método de Solidos Disueltos Totales (SDT)

4.3.1 Estimación de la Exactitud del sistema (SDT)

4.3.1.1 Veracidad

Para la evaluación de Solidos Disueltos Totales se trabajó a partir de los datos (Anexo 7), se realizó los cálculos a partir de las concentraciones de cloruro de potasio, para la evaluación de la veracidad del método, se trabajó con la prueba de t Student, sabiendo que t_{cal} tiene que ser menor al t_{tab} , para un nivel de confianza de 95%, por lo que podemos decir que la metodología empleada reporta resultados exactos.

Se realizó la evaluación siguiendo todos los pasos que se describió anteriormente, en la siguiente Figura 22 se demuestra que, si cumple, los resultados estadísticos con las que se calculó la verdad del método de Solidos Disueltos Totales.

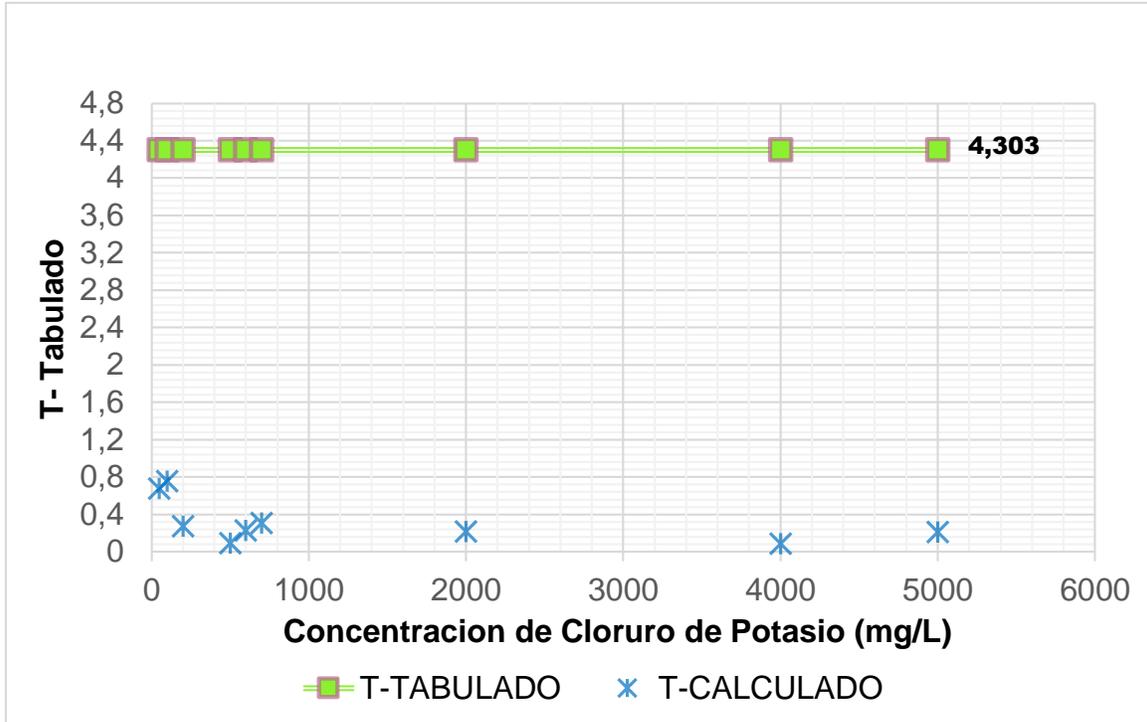


Figura 22. Evaluación de la Veracidad del sistema Solidos Disueltos Totales

4.3.1.2 Sesgo

Para la evaluación del parámetro del sesgo, se trabajó a partir de material de referencia certificado (MRC), con los datos obtenidos se evaluó con la prueba de t Student, lo que nos indica de $t_{cal} < t_{tab}$, con un nivel de confianza del 95%, por lo que podemos decir que la metodología empleada reporta resultados exactos. Observando en la Tabla 26 los resultados nos indica que no existe una diferencia significativa. (Ver tabla 27).

Tabla 27. Sesgo del Material de Referencia Certificado

Xa	Promedio	S	n	t cal	t cri
28,47	28,1367	1,0526	6	0,7757	2,571

Donde:

Xa = Material de Referencia Certificado (MRC)

Promedio = Promedio de los ensayos del MRC

S= Desviación Estándar de los ensayos

n = Número de veces de los ensayos

tcal = "t" calculado

ttab= "t" tabulado.

4.3.2 Precisión (SDT)

En el Tabla 28, se muestra los niveles de control de calidad de HorRat verificándose que el promedio de las mediciones de Sólidos Disueltos Totales expresado en (mg/L), se encuentran en la zona aceptable ($\text{HorRat} < 2$), significa que hay homogeneidad en las muestras indicando con un buen desempeño del método (Rivera O., 2010).

Tabla 28. Resumen del Criterio de Aceptación de HorRat de Sólidos Disueltos Totales

Niveles	CV<10%	CV HorRat	Criterio de Aceptación de HorRat
1	3,77358491	1,71483964	CUMPLE
2	0,65822585	0,32976954	EXCELENTE
3	3,41039452	1,89991222	CUMPLE
4	1,74427448	1,11189993	CUMPLE
5	1,23325046	0,80842388	CUMPLE
6	2,10087074	1,41153132	CUMPLE
7	1,70020297	1,33641743	CUMPLE
8	1,18387989	1,03093164	CUMPLE
9	0,81702057	0,7355766	CUMPLE

En el caso de la concentración de 100 (mg/L) de Sólidos Disueltos Totales se encuentra en la zona dudosa ($\text{HorRat} < 0.5$), lo que indica promedios no reportados o excelente entrenamiento y experiencia en el método analítico estudiado cumpliéndose el criterio de control de calidad establecido por (Rivera O., 2010)

En la Figura 23, se observa el control de calidad del método estudiado.

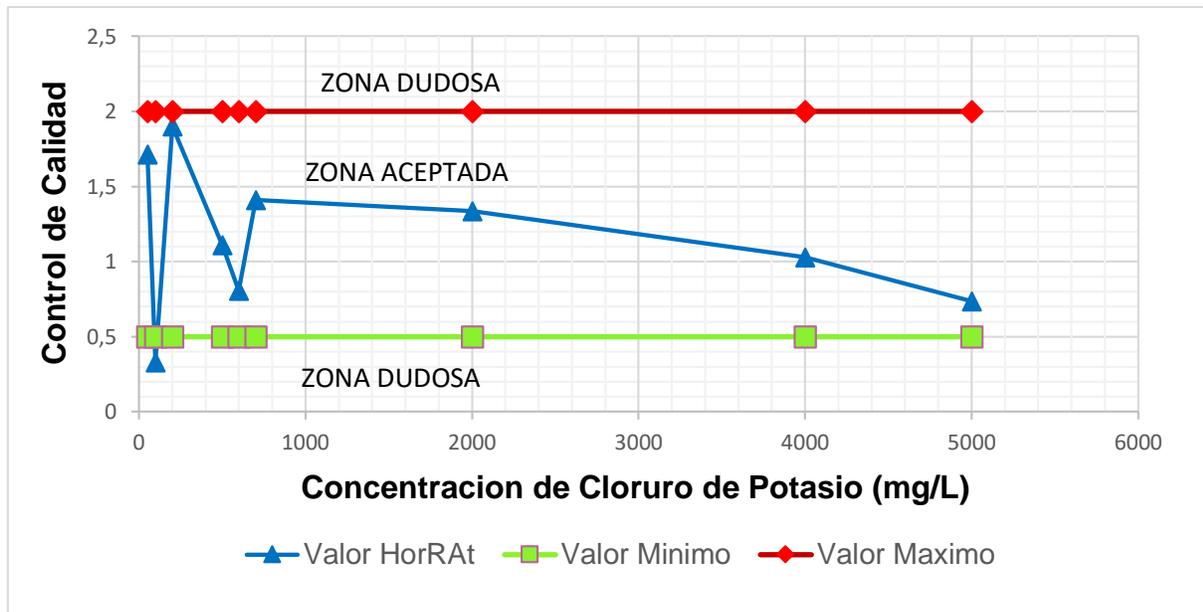


Figura 23. Control de HorRat del método de Sólidos Disueltos Totales

4.3.3 Incertidumbre (SDT)

Para la evaluación de la incertidumbre se puede observar el diagrama de espina de pescado (Diagrama de Ishikawa), donde se realizó las determinaciones de las diferentes fuentes o componentes de la incertidumbre de las mediciones presentes en el método de Sólidos Disueltos Totales. En la Figura 24 se puede observar con más detalle los componentes que utilizamos para dicha medición, que permitirá con facilidad identificar las fuentes de incertidumbre presentes durante el proceso analítico.

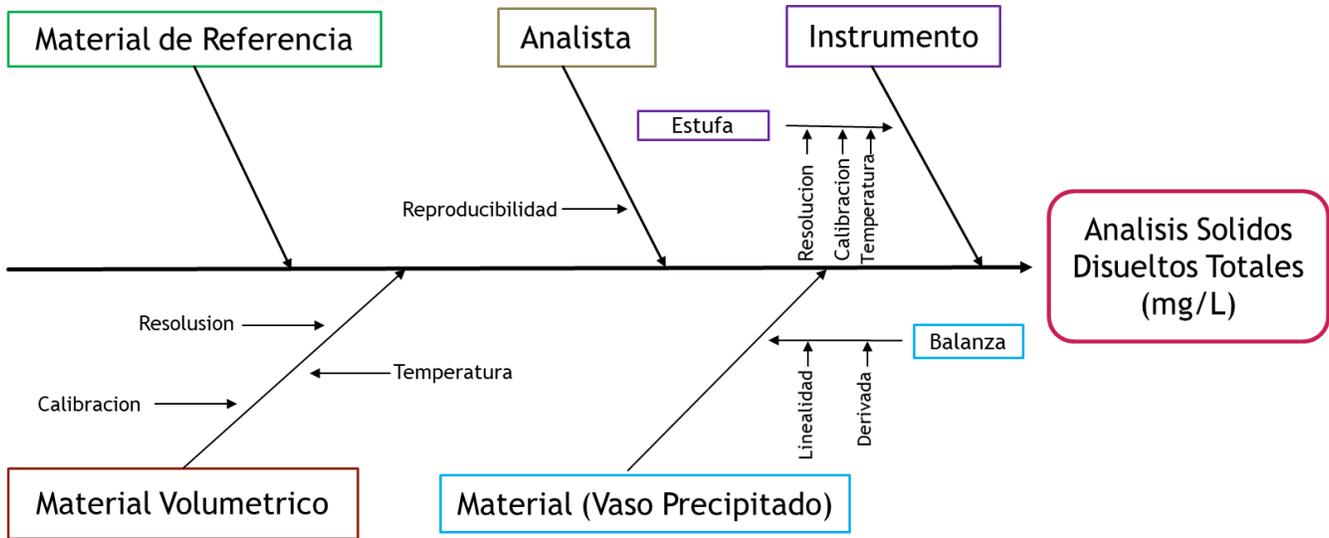


Figura 24. Diagrama de Ishikawa para el cálculo de la incertidumbre del método de Sólidos Disueltos Totales

4.3.3.1 Estimación de la incertidumbre en base a datos de validación

A. Estimación de la Incertidumbre del Masa del Vaso Precipitado

En la Tabla 29, podemos observar el resumen de los datos, de los cuales se determinará la incertidumbre en función de los pesos de los vasos, desviación estándar y utilizado la linealidad de la balanza con la cual se trabajó, así mismo se utilizó el factor de cobertura con un nivel de confianza del 95%. Con una incertidumbre es de $6.67E-05$

Tabla 29. Incertidumbre del Vaso Precipitado

<i>P.mc (gr)</i>	<i>S. mc</i>	<i>n. mc</i>	<i>u. mc</i>	<i>Lin. Bal</i>	<i>u. bal</i>	<i>u.comb</i>	<i>u. exp</i>
99,28	5,77E-05	3	3,33E-05	0,0003	0,00015	3,34E-05	6,67E-05

Donde:

P_{mc} = Promedio de los pesos del filtro de fibra de vidrio

S_{mc} = Desviación Estándar del filtro de fibra de vidrio

n_{mc} = Número de veces pesado

u_{mc} = Incertidumbre del filtro de fibra de vidrio

Lin.Bal= Linealidad de la Balanza

u_{bal} = Incertidumbre de la Balanza

u_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

u_{exp} = Incertidumbre expandida del filtro de fibra de vidrio.

B. Estimación de la Incertidumbre del Material de Volumétrico

Para la estimación de la incertidumbre del material volumétrico se tomó en cuenta, los siguientes materiales: probeta de 1000 ml, probeta de 100 ml y balón aforado de 1000 ml. A continuación, se podrá observar el resumen de los datos, en función a su error permisible o tolerancia, su resolución del material y la temperatura del material.

Tabla 30. Incertidumbre del Balón Aforado de 1000 (ml)

Tolerancia	U(tolerancia)	U resolución	U temp	U comb	U exp
0,4	0,23094011	0,00028868	0,36373067	0,43085197	0,86170393

Donde:

Tolerancia = límite de error \pm (es un valor establecido por las normas)

U_{tol} = Incertidumbre de la Tolerancia

$U_{resolución}$ = Incertidumbre por resolución

$U_{temp.}$ = Incertidumbre de la temperatura del material del vidrio

u_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

u_{exp} = Incertidumbre expandida del balón aforado.

Tabla 31. Incertidumbre de la Probeta de 100 (ml)

Tolerancia	U (tolerancia)	U resolución	U temp	U comb	U exp
0,5	0,25	0,00028868	0,03637307	0,25263231	0,50526462

Así pues en la Tabla 30 y 31, las incertidumbres calculas son de, 0.8617 y 0.5052 respectivamente.

C. Estimación de la Incertidumbre de la Estufa

En la Tabla 32, se observa el resumen de los datos, lo cual está en función de la precisión del ajuste del instrumento y su resolución. El instrumento utilizado es marca MEMMERT modelo 400. Por lo tanto, tenemos una incertidumbre de 0.7637.

Tabla 32. Incertidumbre de la Estufa

<i>Precisión</i>	<i>U precisión</i>	<i>Resolución</i>	<i>U resolución</i>	<i>U comb</i>	<i>U exp</i>
0,5	0,25	0,5	0,2886751	0,3818813	0,7637626

Donde:

Precision = Precisión de ajuste en (°C)

$U_{\text{precision}}$ = Incertidumbre de la precisión

Resolucion = Resolución de la indicación del instrumento

$U_{\text{resolucion}}$ = Incertidumbre de la resolución

U_{comb} = Incertidumbre estándar combinada

U_{exp} = Incertidumbre expandida del balón aforado

D. Combinación de las fuentes de incertidumbre

En la Tabla 33, podemos ver el resumen de todas las fuentes de incertidumbre, dando como resultado la incertidumbre total de $u_c = 2.11E-01$.

Tabla 33. Incertidumbre combinada del método de Solidos Disueltos Totales

<i>U mc</i>	<i>U balón</i>	<i>U probeta</i>	<i>U estufa</i>	<i>U MRC</i>	<i>U comb</i>
4,45E-13	7,43E-13	2,55E-09	1,21E-05	4,44E-02	2,11E-01

Donde:

U_{mc} = Incertidumbre de la masa del filtro,

$U_{\text{balón}}$ = Incertidumbre del Balón Aforado de (1000 ml),

U_{probeta} = Incertidumbre de la Probeta de (100 ml),

U estufa= Incertidumbre de la Estufa,

U comb= Incertidumbre combinada de todas las fuentes de incertidumbre de Solidos Disueltos Totales.

E. Incertidumbre expandida del método de Solidos Disueltos Totales

Podemos observar en la Tabla 34, la incertidumbre expandida de $U_{exp} = 0.4125$, esto significa que el método analizado, proporciona resultados de Solidos Disueltos Totales en as muestras de agua de riego es de $\pm 0.4125 \% ST$

Tabla 34. Incertidumbre expandida del método Solidos Disueltos Totales

<i>U c</i>	<i>K</i>	<i>U exp</i>
0,21077675	2	0,421553509

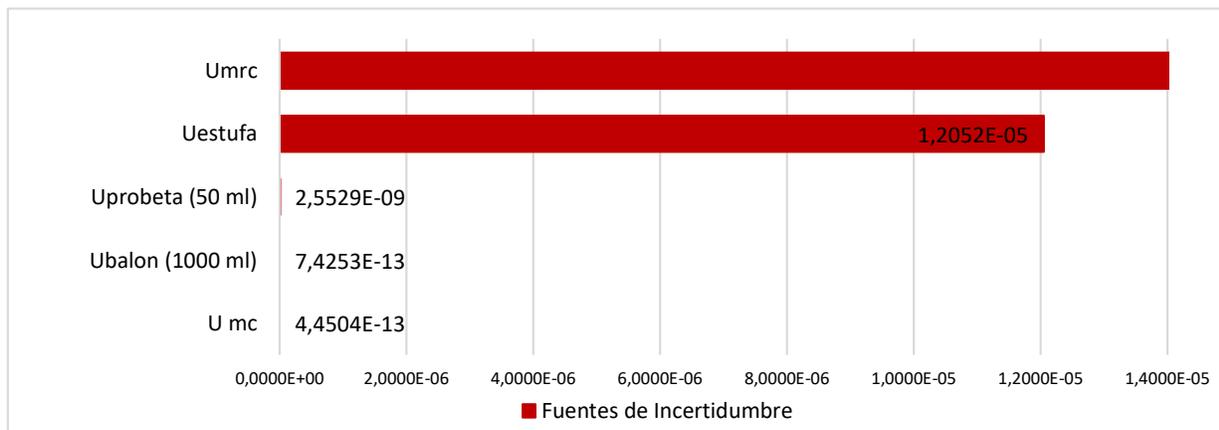
Donde:

Uc: es la incertidumbre relativa combinada de todas las fuentes de incertidumbre

K: es el factor de cobertura

Uexp: es la incertidumbre expandida del método Solidos Disueltos Totales.

Observar en la Figura 25, podemos observar que la mayor fuente de incertidumbre es del material de referencia, pero al igual que las otras fuentes de incertidumbre no tienen valores significativos.



4.4 Análisis de las muestras de agua de riego para diferentes localizaciones

Se puede observar los datos obtenidos en la Tabla 35, en los análisis de ST, SST y SDT, empleando los métodos ya validados en muestras de agua de riego, los resultados van acompañados con su incertidumbre (± 0.0070 , ± 0.4125 y ± 0.4215) respectivamente, de esta manera aplicamos los métodos para el análisis de ST, SST y SDT en las aguas muestreadas.

Tabla 35. Análisis de las muestras de agua de riego empleando los métodos de ST, SST y SDT

Lugares de Muestreo	Fecha M.	ST (mg/L)		SST (mg/L)		SDT (mg/L)	
a) Cota Cota (rio)	23-07-2021	634,0	± 0.0070	116,0	± 0.4125	518,0	± 0.4215
b) Cota Cota (Canal de riego)	23-07-2021	483,0	± 0.0071	45,0	± 0.4126	438,0	± 0.4216
c) Cota Cota (Tanque)	19-08-2021	564,5	± 0.0081	5,0	± 0.4136	559,5	± 0.4226
d) Cota Cota (Manantial)	19-08-2021	608,0	± 0.0082	3,0	± 0.4137	605,0	± 0.4227
e) Patacamaya (Pozo)	30-07-2021	240,5	± 0.0075	1,5	± 0.4130	239,0	± 0.4220
f) Patacamaya (Primer Reservorio)	30-07-2021	401,5	± 0.0076	19,5	± 0.4131	382,0	± 0.4221
g) Patacamaya (Primer Reservorio - Aspersion)	30-07-2021	375,0	± 0.0077	3,0	± 0.4132	372,0	± 0.4222
h) Patacamaya (Segundo Reservorio - Aspersion)	30-07-2021	553,5	± 0.0078	7,5	± 0.4133	546,0	± 0.4223
i) Choquenaira (Pozo Sur)	30-07-2021	145,5	± 0.0079	4,5	± 0.4134	141,0	± 0.4224
j) Choquenaira (Pozo Norte)	30-07-2021	146,0	± 0.0080	1,0	± 0.4135	145,0	± 0.4225
k) Choquenaria (Pivote)	30-07-2021	325,5	± 0.0083	3,0	± 0.4138	322,5	± 0.4228
l) Choquenaira (Tanque)	30-07-2021	272,5	± 0.0084	19,5	± 0.4139	253,0	± 0.4229
m) Lipari	23-07-2021	467,0	± 0.0072	76,5	± 0.4127	390,5	± 0.4217
n) Avircato	23-07-2021	1078,5	± 0.0073	480,5	± 0.4128	598,0	± 0.4218
o) Chicani	26-07-2021	222,0	± 0.0074	2,5	± 0.4129	219,5	± 0.4219

Lugares de Muestreo	CE (dS/m)	pH	Bicarbonatos (meq/L)	Carbonatos (meq/L)	Sulfatos (mg/L)
a) Cota Cota (rio)	1,206	7,7	5,6	-	125,5577
b) Cota Cota (Canal de riego)	1,247	7,09	5,2	-	103,3739
c) Cota Cota (Tanque)			3,8	-	79,189
d) Cota Cota (Manantial)			4	-	74,313
e) Patacamaya (Pozo)	0,545	7,3	1,6	-	40,7464
f) Patacamaya (Primer Reservorio)	0,648	7,17	1,2	-	63,1969
g) Patacamaya (Primer Reservorio - Aspersion)	0,652	8,78	-	0,8	57,7729
h) Patacamaya (Segundo Reservorio - Aspersion)	0,824	8,75	-	4	73,1609
i) Choquenaira (Pozo Sur)	0,229	8,17	1,2	-	22,3669
j) Choquenaira (Pozo Norte)	0,220	8,02	1,2	-	26,3819
k) Choquenaria (Pivote)	0,296	8,92	-	1,2	49,0168

l) Choquenaira (Tanque)	0,232	8,12	1	-	24,8498
m) Lipari	0,852	7,78	2,8	-	123,0027
n) Avircato	0,985	7,65	3,2	-	137,3027
o) Chicani	0,320	7,46	0,8	-	65,7919

4.5 Análisis económico de los Solidos

Se realizó un análisis de costo para cada método en investigación

4.5.1 Solidos Totales

Para el análisis económico para los Solidos Totales, trabajamos en función al desgaste de los materiales usados por cada muestra de agua de riego, como se puede apreciar en la siguiente Tabla 36:

Tabla 36. Costos del Método de Solidos Totales

Descripción		Unid	Cantidad	Precio Product.	Costo Total
1.-	INSUMOS Y REACTIVOS				
1,1	Crisol de 100 ml	ml	1,00	80,00	0,16
1,2	Silica Azul	kg	1,00	80,00	0,16
1,3	Probeta de 50 ml	ml	1,00	86,45	0,17
1,4	Agua Purificada	lt	1,00	20,00	20,00
1,5	Agua Destilada	lt	1,00	12,00	12,00
					32,49
2.-	PERSONAL OPERATIVO				
	ESPECIALISTA	HRH	1	4,00	4,00
SUB TOTAL MANO DE OBRA					4,00
3.-	EQUIPO DE LABORATORIO Y MATERIALES				
	EQUIPO - % DE LA MANO DE OBRA	%	2	10,00%	0,40
TOTAL EQUIPO Y MATERIAL					0,40
4.-	UTILIDAD				
	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4	%	5,00%		
TOTAL UTILIDAD					1,84
TOTAL PRECIO UNITARIO					38,7

Como observamos en la Tabla 36, se encuentra en función a la cantidad de insumos a utilizar durante el trabajo de investigación, equipo y mano de obra, donde el costo parcial

para el análisis de Sólidos Totales es de 38.7 Bs., por cada muestra de agua de riego, es por ello que se tomó en cuenta el desgaste de los materiales ya que se someten a temperaturas muy altas como temperaturas bajas, así observando el desgaste de los poros ya que no nos podrá proporcionar un peso exacto al momento del análisis.

4.5.2 Sólidos Suspendidos Totales

Para el análisis económico para los Sólidos Suspendidos Totales, trabajamos en función al desgaste de los materiales usados por cada muestra de agua de riego y el uso del filtro de fibra de vidrio, como se puede apreciar en la tabla 37.

Tabla 37. Costos del Método de Sólidos Suspendidos Totales

	Descripción	Unid	Cantidad	Precio Product.	Costo Total
1.-	INSUMOS Y REACTIVOS				
1.1.	Filtros de Fibra de Vidrio		1,0000	6,5000	6,5000
1,3	Embudo bushner		1,0000	145,0000	0,2900
1,4	Probeta de 100 ml		1,0000	89,0000	0,1780
1.5	Agua Purificada	lt	1,0000	20,0000	20,0000
1,7	Silica Azul	kg	1,0000	80,0000	0,1600
1,8	Papel Aluminio		1,0000	21,0000	21,0000
TOTAL INSUMOS Y REACTIVOS					48,13
2.-	PERSONAL OPERATIVO				
	ESPECIALISTA	HRH	1	4,00	4,00
SUB TOTAL MANO DE OBRA					4,00
3.-	EQUIPO DE LABORATORIO Y MATERIALES				
	EQUIPO - % DE LA MANO DE OBRA	%	2	10,00%	0,40
TOTAL EQUIPO Y MATERIAL					0,40
4.-	UTILIDAD				
	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4	%	5,00%		
TOTAL UTILIDAD					2,63
TOTAL PRECIO UNITARIO					55,15

Podemos observar en la Tabla 37, de igual manera se trabajó en función del material que sea utilizado durante el trabajo de investigación, equipo y mano de obra, se obtuvo un costo parcial para el análisis de Sólidos Suspendidos Totales es de 55.15 Bs por cada muestra de agua de riego. El costo que obtuvimos por muestra se basa al uso de filtros

de fibra de vidrio ya que 100 unidades que tiene un costo de 650 Bs, es muy necesario e indispensable trabajar con dicho material.

4.5.3 Solidos Disueltos Totales

Para el análisis económico para los Solidos Disueltos Totales, trabajamos en función al desgaste de los materiales usados por cada muestra de agua de riego y el uso del filtro de fibra de vidrio, como se puede apreciar en la Tabla 38.

Tabla 38. Costos del Método de Solidos Disuelto Totales

	Descripción	Unid	Cantidad	Precio Product.	Costo Total
1.-	INSUMOS Y REACTIVOS				
1.1.	Filtros de Fibra de Vidrio		1,0000	6,5000	6,5000
1,2	Crisol de 100 ml		1,0000	120,0000	0,2400
1,3	Vasos de precipitado de 250 ml		1,0000	33,0000	0,0660
1,4	Embudo bushner		1,0000	145,0000	0,2900
1,5	Probeta de 100 ml		1,0000	89,0000	0,1780
1,6	Silica Azul	kg	1,0000	80,0000	0,1600
1,7	Agua Purificada	lt	1,0000	20,0000	20,0000
1,8	Agua Dezionizada	lt	1,0000	12,0000	12,0000
TOTAL INSUMOS Y REACTIVOS					39,43
2.-	PERSONAL OPERATIVO				
	ESPECIALISTA	HRH	1	4,00	4,00
SUB TOTAL MANO DE OBRA					4,00
3.-	EQUIPO DE LABORATORIO Y MATERIALES				
	EQUIPO - % DE LA MANO DE OBRA	%	2	10,00%	0,40
TOTAL EQUIPO Y MATERIAL					0,40
4.-	UTILIDAD				
	UTILIDAD = % DE 1+2+3+4	%	5,00%		
TOTAL UTLIDAD					2,19
TOTAL PRECIO UNITARIO					46,03

Como podemos observar en la Tabla 38, de la misma manera se trabajó en función a la utilidad de los materiales durante el trabajo de investigación, equipo y mano de obra, se obtuvo un costo parcial para el análisis de Solidos Disueltos Totales es de 46.03 Bs por cada muestra de agua de riego.

5. CONCLUSIONES

Los métodos de análisis de ST, SST y SDT en el presente documento fueron seleccionados del *Standard Methods*, por lo tanto, son métodos normalizados:

La linealidad para los Sólidos Totales (ST) y Sólidos Suspendidos Totales (SST), presentó un coeficiente de correlación, entre las concentraciones teóricas y las concentraciones experimentales, de 0.9999 y 1 respectivamente.

En la determinación de los Sólidos Totales (ST), SST y SDT, la metodología utilizada (métodos estandarizados) presentó una excelente exactitud de las concentraciones con un nivel de confianza del 95 por ciento.

Para la exactitud del Material de Referencia Certificado (MRC), las metodologías empleadas en la determinación de SST y SDT, mostraron una exactitud confiable, lo que nos indica que las metodologías utilizadas en el presente trabajo de investigación son adecuadas.

En las pruebas realizadas de la precisión del sistema, en función a la repetibilidad, se cumplieron con los criterios de aceptación y control de calidad ($HorRat < 2$), indicando que nuestros resultados están dentro del límite aceptable.

La incertidumbre de las metodologías debido al uso de los materiales (fuentes y/o componentes) al 95% de confianza, se encuentra en el rango aceptable señalada en la guía de Guía de Laboratorio para Validación de Métodos y Temas Relacionados (Eurachem)

Las aguas analizadas corresponden a la estación de Cota Cota, Patacamaya, Choquenaira, Lipari, Avircato y Chicani. De estas aguas, la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales se encuentran por encima de 116 ppm las aguas (a, n), siendo clasificados como aguas con un grado de restricción severo (FAO, 1985), mientras que las aguas de las demás fuentes (b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, o) presentan valores menores a 45 ppm, siendo denominados como grado de restricción nulo.

La presencia de SDT se encuentran por encima de 518 ppm siendo categorizados como ligeros a moderados las aguas (a, c, d, h, n) y las demás fuentes presentan valores menores a 438 ppm (grado de restricción nulo) las aguas (b, e, f, g, i, j, k, l, m, o).

Tomando en cuenta el personal, uso de equipos y materiales, gastos generales y administrativos, además de la utilidad, el costo de ST es de 38.70 Bs, el costo para los SDT es de 46.03 Bs y para los SST un costo de 55.15 Bs por muestra. Estos precios serian competitivos con los de otros laboratorios.

Los resultados obtenidos de los Solidos Totales, Solidos Suspendidos Totales y Solidos Disueltos Totales para aguas de riego, con las metodologías utilizadas y validadas según la norma 17025, indican que los mismos son precisos y confiables.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir realizando varios trabajos de investigación de los comportamientos de la calidad de agua de riego, ya que es tan importante como los estudios del suelo y la planta.

Al realizar las metodologías se debe tener un gran cuidado de no contaminar los materiales a utilizar y utilizar solo agua purificada, para así no exista cambio en las muestras futuras.

Tener cuidado con el material volumétrico, material de porcelana que se utiliza y verificar que los errores no afecten al resultado final y si es así corregirlos para su reporte final.

Antes de proceder a realizar el análisis, se recomienda seguir las instrucciones de manejo, transporte y muestreo, teniendo cuidado con las posibles interferencias que el método implica.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, J., & Salvadori, J. (2017). Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados. Universidad Nacional de la Pampa.
- Argandoña, L., & Macias, R. (2013). Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia colón, cantón portoviejo, provincia de manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013. Técnica de Manabí.
- Avendaño, P. (2018). Producción de agua residual sintética como candidato a material de referencia en los parámetros de ph, sólidos suspendidos totales y demanda química de oxígeno. Univerdad Mayor de San Andres.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture, FAO Irrigacion and Drainage. Roma, FAO.
- Aznar, A. (2000). Determinacion de los Parametros Fisicos—Quimicos de Calidad de las Aguas. 2, 12.
- Baez, M., Fernanda. (2009). Validacion de Metodos de Ensayo para el Analisis de Parametros Fisico-Quimico en Aguas Limpias y Residuales en el Laboratorio de Medio Ambiente. Universidad Politecnica del Ejercito.
- Barrera J., F. (2018). Cálculo de las incertidumbres de ensayos físico-químicos en aguas marinas, continentales y residuales. Universidad de Sevilla.
- Camara de Industrias de Guayaquil. (2012). Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes. Recurso Agua.
- Canedo, G. (2012). Verificación de parámetros físicos y químicos en el análisis de aguas residuales que vierte el hospital de clínicas. Mayor de San Andres.
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). Indicadores de la Calidad del Agua: Evolucion y Tendencia a Nivel Global. 14.
- Chiruchi, J., Gabito, J., Usher, S., & Serrentino, C. (1996). Manual de Procedimientos Analíticos para Aguas y Efluentes (DINAMA).
- Eurachem. (2005). Guide Traceability in Chemical Measurement. A guide to achieving comparable results in chemical measurement. This Guide was in part supported under contract with the UK Department of Trade and Industry as part of the National Measurement System Valid Analytical Measurement (VAM) Program.
- FAO. (1996). Ecología y Enseñanza Rural-Nociones ambientales basicas para profesores rurales y extensionistas.
<http://www.fao.org/3/W1309S/w1309s00.htm#TopOfPage>

- FAO. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua (Riego y Drenaje). organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.
- Fernandez, A. (2012). El Agua: Un Recurso Esencial (Vol. 11).
- Gallo S., W. O. (2020). Validación de métodos para determinar sulfatos, fosfatos y cloruros y monitoreo de soluciones del suelo en Santa Cruz, Galápagos. Universidad Central del Ecuador.
- Garcia, A. (2012). Criterio Moderno para Evaluacion de la Calidad del Agua para Riego (p. 10).
- Garcia, Y. (2015). Calidad del agua con fines de riego. 35, 12.
- Giraldo, G. (1999). Validacion de Metodos Analiticos de Laboratorio.
- Guillen, H., Teck, B., Kohlmann, J., & Yeomans. (2012). Microorganismos como Bioindicadores de la Calidad del Agua. 1, 8(Tierra Tropical: sostenibilidad, ambiente y sociedad), 65-93.
- Heredia, O. (2006). El agua de Riego: Criterios de Interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción.
- Herrera, J., Rodriguez, J., Coto, J., Salgado, V., & Borbon, H. (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. 26.
- IBNORCA. (2005). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibracion. Norma Boliviana NB-ISO-EIC 17025.
- Instituto Boliviano de Metrología. (2018). Normas de Validación de método analíticos.
- Instituto de Salud Publica. (2010). Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: "Aspectos generales sobre la validación de métodos" (Seccion Meteorologica Ambiental y de Alimentos, Vol. 1).
- Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2013). Norma Tecnicas Ecuatoriana. Calidad del Agua. INEN. Quito.
- ISO. (2005). Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibracion (Segunda).
- Jacome Y., J. A. (2014). Validación de métodos analíticos para la determinación de la demanda química de oxígeno (rango bajo, rango medio, rango alto), sólidos totales disueltos y sólidos totales suspendidos en matrices de agua clara y residual en el centro de investigaciones y control ambiental "CICAM" [Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos]. Universidad Técnica de Ambato.
- Jimenez, B. (2005). La Contaminacion Ambiental en Mexico: Causas, efectos y tecnologia apropiada. Limusa.

- Lara, J. A., & Hernandez, A. (s. f.). Reutilizacion de Aguas Residuales: Aprovechamiento de los Nutrientes en Riego Agricola. 6.
- Londoño, A., Giraldo, G., & Gutierrez, A. (2010). Metodos Analiticos para la Evaluacion de la Calidad Fisicoquimica del Agua (Facultad de Ingenieria y Arquitectura).
- MMAyA. (2015). Bolivia: un estado, comprometido con su pueblo para garantizar la calidad del agua.
- Quispe, J., Gertrudis. (2016). Evaluacion de la calidad fisico quimica y bacteriologica del agua de riego de la Estacion Experimental de Cota Cota. Universidad Mayor de San Andrés.
- Rivera O., C. A. (2010). Uso de la ecuacion de Horwitz en laboratorios de ensayos.NMX-EC-17025-IMNC-2006. 8.
- Ruiz, Katherine L. (2018). Validación de Métodos de ensayo para determinación de pH, Conductividad, Sólidos Sedimentables, Sólidos Suspendidos y Sólidos Disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab. Universidad Central del Ecuador.
- Sadzawka, A. (2006). Metodos de Analisis de Aguas de Riego (Instituto de Investigaciones Agropecuarias).
- Serrano, G. (2000). Riego Subsuperficial En Ambiente Atemperado Para La Produccion Intensiva De Navo (*Brassica napus*) Y Lechuga (*Lactuca sativa*).
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>
- Toasa, F., Arecely. (2012). Validacion de los metodos de ensayo para fenoles, tensoactivos, solidos suspendidos y total de solidos disueltos (TDS). Universidad Central del Ecuador.
- Van, P. (2002). Disponibilidad, uso y calidad de los recursos hídricos en Bolivia.
- Vargas, M. (2016). Validación del método de ensayo de sólidos totales suspendidos en matriz de agua residual y cruda en el laboratorio central de la empresa pública social de agua y saneamiento (EPSAS). Universidad Mayor de San Andrés.
- Velasco M., S. M. (2014). Estimación de incertidumbre en las mediciones analíticas que emplean la técnica de gravimetría de masas y de espectrometría de ultravioleta visible en el laboratorio central de pruebas. Instituto Tecnológico de Colima.
- Villamizar, M. (2008). Estandarizacion de Metodos Analiticos Usados para el Analisis de Agua, en el Laboratorio del Centro de Estudios e Investigar Ambientales (CEIAM) [Facultad de Quimica]. Industrial de Santander.

Vives de Andreis, J. (2003). Manual de Tecnicas Analiticas para la Determinacion de Parametros Fsicosquimico y Contaminantes Marinos. Instito de Investigaciones Marinas y Costeras.

Yujra, E. (2018). Evaluación de los métodos de bray- kurtz y olsen para la determinación de fósforo disponible en suelos agrícolas del departamento de La Paz. Universidad Mayor de San Andres.

8. ANEXOS

Anexo 1. Datos para la Evaluación del Test de GRUBB para Solidos Totales

Replicas	200	600	1000	10000	20000	G tablas 95%	G Gtab>Gcal
1	0,0582	0,0932	0,1026	0,5629	0,3484	1,938	Cumple
2	0,4652	0,0932	0,1967	0,024	0,606	1,938	Cumple
3	0,0582	0,8852	0,2266	0,3114	0,2424	1,938	Cumple
4	0,3489	0,4193	0,0727	0,7785	0,1818	1,938	Cumple
5	0,0582	0,0932	0,0727	0,1437	0,2424	1,938	Cumple
6	0,0582	0,0932	0,1026	0,1078	0,2878	1,938	Cumple
7	0,3489	0,0932	0,0727	0,1078	0,2424	1,938	Cumple

Anexo 2. Datos para Evaluación del Test de GRUBB para Solidos Suspendidos Totales

Replicas	200	600	1000	10000	20000	G tablas 95%	G Gtab > Gcal
1	0,3475	0,1404	0,037	0,0343	0,5978	1,938	Cumple
2	0,3475	0,1404	0,2864	0,1544	0,5314	1,938	Cumple
3	0,0772	0,1053	0,0693	1,0466	0,3985	1,938	Cumple
4	0,7337	0,351	0,037	0,3946	1,1292	1,938	Cumple
5	0,0772	0,351	0,0693	0,1544	0,1328	1,938	Cumple
6	0,3475	0,1404	0,037	0,2059	0,2657	1,938	Cumple
7	0,4634	0,3861	0,037	0,5147	0,6642	1,938	Cumple

Anexo 3. Datos Experimentales para Linealidad de Solidos Totales

Concentraciones de Caolín (mg/L)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
200	210	190	210	200	210	200	200
200	190	200	190	200	200	190	200
200	200	200	200	210	190	210	210
600	590	600	620	590	600	610	610
600	600	610	610	590	590	590	600
600	610	590	600	610	610	600	590
1000	1000	1100	1000	1000	1000	1200	1000
1000	1200	1010	1200	1200	1200	1000	1000
1000	1010	1000	900	1000	1000	1010	1200
10000	10400	10000	10000	10800	10200	10800	10000
10000	11000	12400	10400	10400	10600	10200	10600
10000	8400	8800	10000	10000	10000	10400	10800
20000	20000	19800	19600	21600	20600	21000	20200
20000	21000	20200	21600	20000	20200	20000	21000
20000	20800	20000	20400	19200	20800	19600	20400

Anexo 4. Datos Experimentales para Linealidad de Solidos Totales Suspendidos

Concentraciones de Caolín (mg/L)	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
200	190	210	200	210	200	190	210
200	200	190	220	200	210	200	230
200	210	200	190	230	200	210	190
600	580	610	590	600	630	610	590
600	620	600	610	630	610	600	610
600	610	600	620	600	590	600	600
1000	900	1100	1100	1000	1000	1200	1100
1000	1200	1100	1010	1000	1200	1000	1000
1000	1100	900	1100	1200	1010	1000	1100
10000	10100	10300	10000	10200	10100	10400	9700
10000	10200	9800	10400	10000	10200	9600	10400
10000	10200	10300	11000	10000	10100	10700	10000
20000	20600	21700	20900	21900	21300	21700	21400

20000	20200	20200	21200	20800	20000	20500	20100
20000	21900	20800	20200	20800	21000	20800	20500

Anexo 5. Datos Experimentales de Veracidad de Solidos Totales

Concentraciones de Caolín	T calculado	T tabla	T ttab > tcal
200	0,078	2,447	Cumple
600	0,155	2,447	Cumple
1000	1,366	2,447	Cumple
10000	0,559	2,447	Cumple
20000	0,624	2,447	Cumple

Anexo 6. Datos Experimentales de Veracidad de Solidos Totales Suspendidos

Concentraciones de Caolín	T calculado	T tabla	T ttab > tcal
200	0,303	2,447	Cumple
600	0,524	2,447	Cumple
1000	1,812	2,447	Cumple
10000	0,464	2,447	Cumple
20000	1,986	2,447	Cumple

Anexo 7. Datos Experimentales de Veracidad de Solidos Totales Disueltos

Concentraciones de Caolín	T calculado	T tabla	T ttab > tcal
50	0,679	4,303	Cumple
100	0,755	4,303	Cumple
200	0,276	4,303	Cumple
500	0,091	4,303	Cumple
600	0,231	4,303	Cumple
700	0,306	4,303	Cumple
2000	0,219	4,303	Cumple
4000	0,089	4,303	Cumple
5000	0,21	4,303	Cumple

Anexo 8. Tabla de la Distribución t-Student

2 colas		80%	90%	95%	98%	99%
$\alpha/2$		0.10	0.05	0.025	0,01	0,0015
v						
1 cola						
α		0.10	0.05	0.025	0,01	0,0015
v						
1		3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2		1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3		1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4		1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5		1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6		1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7		1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8		1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9		1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10		1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11		1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12		1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13		1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14		1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15		1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16		1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17		1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18		1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19		1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20		1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21		1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22		1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23		1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24		1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25		1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26		1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27		1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28		1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29		1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30		1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40		1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60		1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120		1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞		1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Anexo 9. Tabla de valores G de Grubbs

p	Prueba simple de un solo valor alejado		Prueba doble de dos valores alejados	
	Arriba de 1%	Arriba de 5%	Bajo 1%	Bajo 5%
3	1,155	1,154	---	---
4	1,496	1,481	0,0000	0,0002
5	1,764	1,715	0,0018	0,0090
6	1,973	1,887	0,0116	0,0349
7	2,139	2,020	0,0308	0,0708
8	2,274	2,127	0,0563	0,1101
9	2,387	2,215	0,0851	0,1492
10	2,482	2,290	0,1150	0,1864
11	2,564	2,355	0,1448	0,2213
12	2,636	2,412	0,1738	0,2537
13	2,699	2,462	0,2016	0,2836
14	2,755	2,507	0,2280	0,3112
15	2,806	2,548	0,2530	0,3367
16	2,852	2,586	0,2767	0,3603
17	2,894	2,620	0,2990	0,3822
18	2,932	2,652	0,3200	0,4025
19	2,968	2,681	0,3398	0,4214
20	3,001	2,708	0,3585	0,4391
21	3,031	2,734	0,3761	0,4556
22	3,060	2,758	0,3927	0,4711
23	3,087	2,780	0,4019	0,4857
24	3,112	2,802	0,4234	0,4994
25	3,135	2,822	0,4376	0,5123
26	3,158	2,841	0,4510	0,5245
27	3,179	2,859	0,4638	0,5360
28	3,199	2,876	0,4759	0,5470
29	3,218	2,893	0,4875	0,5574
30	3,236	2,908	0,4985	0,5672
31	3,253	2,924	0,5091	0,5766
32	3,270	2,938	0,5192	0,5856
33	3,286	2,952	0,5288	0,5941
34	3,301	2,965	0,5381	0,6023
35	3,316	2,978	0,5469	0,6101
36	3,330	2,991	0,5554	0,6175
37	3,343	3,003	0,5636	0,6247
38	3,356	3,014	0,5714	0,6316
39	3,369	3,025	0,5789	0,6382
40	3,381	3,036	0,5862	0,6445

Anexo 10. Memorias Fotográficas

SOLIDOS TOTALES



Pesado del Crisol

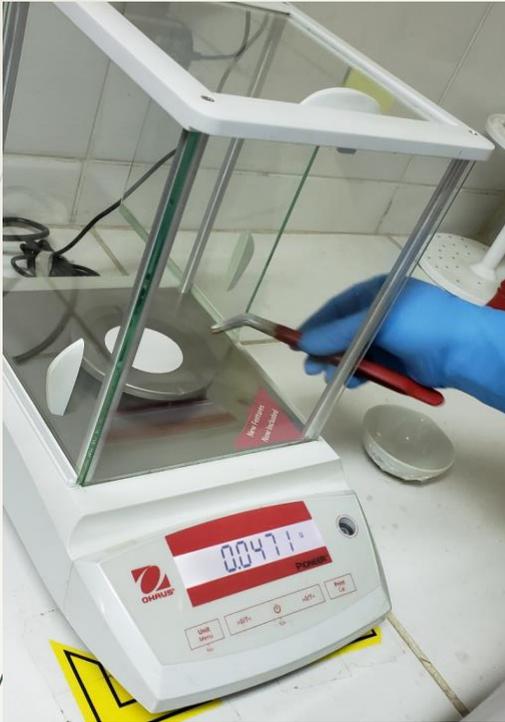


Posteriormente se lleva a la Estufa



Las muestras en los
Crisoles

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



Pesar los filtros



Filtrar las muestras en el equipo de filtración

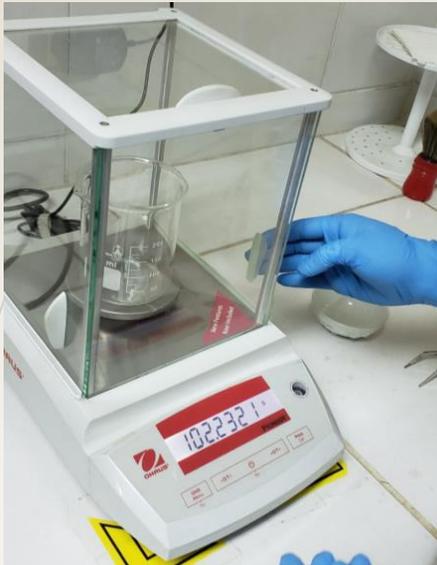


Llevar a la Estufa

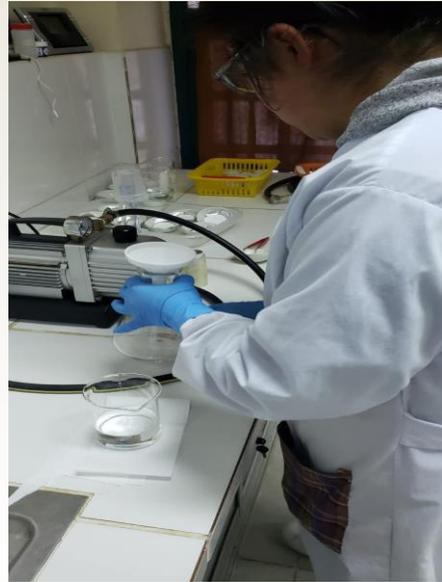


Muestras en los filtros de fibra de vidrio

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES



Se debe pesar el vaso
presipitado



Las muestras deben ser filtradas
cuidadosamente



Luego llevar a la estufa



Las muestras ya evaporadas en los vasos

MUESTREO



Muestreo en la E.E. Cota Cota



Muestreo en Lipari



Muestreo en Avircato



Muestreo en la E.E. Patacamaya



Muestreo en Chicani



Muestreo en la E.E. Choquenaira

Anexo 11. Material de Referencia Certificado

Página 2 de 2

LP-CMQ-0268-2021

Preparación del Material:

Muestra de agua superficial natural tomada en Cercanías Represa de Incahuaca está ubicada en la zona de Chuquiaguillo de la Ciudad de La Paz - Bolivia. La muestra fue tomada el día 15 de septiembre del 2020, en un lote de 1 unidad de 50 L, para luego ser envasadas en botellas de PEAD de 1000 mL.

Se recomendó mantener la botella herméticamente cerrada y almacenada en una temperatura no mayor a 18°C. Después de cada uso se recomendó su refrigeración. Evitar el contacto con posibles contaminantes. No exponer a la luz solar.

Almacenamiento:

Se realizó un estudio de estabilidad basado en la determinación de la constancia del valor en el tiempo, el material es monitoreado durante el periodo de validez. Se garantiza la estabilidad del material durante 12 meses si se siguen las instrucciones de almacenamiento descritas en el certificado. El certificado no tendrá valor en caso de que el MR sea dañada, contaminado o alterado.

Estabilidad:

El estudio de homogeneidad se realizó bajo condiciones de repetibilidad durante un periodo corto de medición. Las muestras fueron escogidas de manera aleatoria. El estudio aseguró la homogeneidad del material.

Homogeneidad:

La asignación del valor se realizó cumpliendo los requisitos de la ISO 17034:2016

Valor certificado

Parámetro	Valor Asignado	U	Unidades	Técnica utilizada
pH	6,85	0,14	Unidades de pH	Potenciométrico
Conductividad	51,73	2,97	µS/cm	Electrométrico
Sulfatos	8,00	0,10	mg/L	Colorimétrico
Turbidez	1,23	0,09	NTU	Nefelométrico
Sólidos Disueltos Totales	26,5	5,8	mg/L	Electrométrico
Sólidos Disueltos Totales	28,47	6,0	mg/L	Gravimétrico
Sólidos Totales Suspensivos	7,71	1,59	mg/L	Gravimétrico

Incertidumbre

La incertidumbre declarada fue estimada con un factor de cobertura de $k=2$ con un Nivel de Confianza aproximado del 95 %, de acuerdo a "Evaluación de datos de medición - Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida" JCGM 2008, siguiendo los lineamientos de la ISO 17034:2016 Requisitos Generales para la competencia de los Productores de Materiales de Referencia.

Observaciones

Ninguna

Fin del Certificado



ADVERTENCIA: El presente certificado autoriza el uso del Material de Referencia para fines propios del solicitante. No constituye una garantía ni una declaración de responsabilidad por parte del IBM. El presente documento se emite de acuerdo a la Ley Nacional de Metrología (011386 de 1978 (0-28).

www.ibm.bo

info@ibm.bo

800 109999



Anexo 12. Otros
(Cotización de Laboratorios Competitivos)



1	Sólidos Disueltos Totales	45.00
2	Sólidos Suspendidos Totales	55.00
3	Sólidos Totales	60.00



1	Sólidos Disueltos	38.00
2	Sólidos en Suspensión	38.00
3	Sólidos Totales	38.00