

Mejoramiento de la precisión en la medición del pH en aguas de baja conductividad por la adición de electrolitos neutros – Cajamarca, 2020

Improvement of the precision in the measurement of pH in low conductivity waters by the addition of neutral electrolytes – Cajamarca, 2020

 Pérez-Tucto, Danny Fernando^{1*}

 Vera-Zelada, Persi¹

 Ventura-Zuloeta, Yuri Lisbeth¹

¹ Universidad Privada Antonio Guillermo Urrullo, Cajamarca, Perú

Recibido: 10 Mar. 2023 | **Aceptado:** 05 Jul. 2023 | **Publicado:** 20 Jul. 2023

Autor de correspondencia*: fernskard321@gmail.com

Como citar este artículo: Pérez-Tucto, D. F., Ventura-Zuloeta, Y. L. & Vera-Zelada, P. (2023). Mejoramiento de la precisión en la medición del pH en aguas de baja conductividad por la adición de electrolitos neutros – Cajamarca, 2020. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(2), e592. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.e592>

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de determinar el mejoramiento en la precisión de la medición del pH en aguas de baja conductividad por la adición de electrolitos neutros, para ello se realizaron ensayos con agua desionizada para un pH 3 hasta un pH 11, a partir de las soluciones estándar de HCl y NaOH a 0,1 M y posteriormente adicionando los electrolitos neutros (KCl y NaCl), midiendo así el pH, la conductividad y el tiempo que demora en estabilizarse. El estudio tiene un enfoque cuantitativo, con un diseño correlacional-experimental. Los resultados mostraron que el tiempo de estabilidad se mejora con la adición de los electrolitos neutros, teniendo un tiempo de: 91s para 0 uS/cm, 52s para 50 uS/cm, 30s para 100 uS/cm y 21 s para 200 uS/cm. En conclusión, la adición de electrolitos neutros ayuda a disminuir el tiempo de estabilidad en la medición del pH, siendo 200uS/cm la conductividad más efectiva para la medición de pH.

Palabras clave: baja conductividad; electrolitos neutros; estabilidad; pH; precisión

ABSTRACT

The present research was developed with the aim of determining the improvement in the accuracy of the pH measurement in waters of low conductivity by the addition of neutral electrolytes, for this purpose tests were carried out with deionized water for a pH 3 up to a pH 11, from the standard solutions of HCl and NaOH at 0.1 M and subsequently adding the neutral electrolytes (KCl and NaCl), thus measuring the pH, conductivity and the time it takes to stabilize. The study has a quantitative approach, with a correlational-experimental design. The results showed that the stability time is improved with the addition of neutral electrolytes, having a time of 91s for 0 uS/cm, 52s for 50 uS/cm, 30s for 100 uS/cm and 21 s for 200 uS/cm. In conclusion, the addition of neutral electrolytes helps to decrease the stability time in pH measurement, with 200uS/cm being the most effective conductivity for pH measurement. The results showed that the stability time is improved with the addition of neutral electrolytes, having a time of 91s for 0 uS/cm, 52s for 50 uS/cm, 30s for 100 uS/cm and 21 s for 200 uS/cm. In conclusion, the addition of neutral electrolytes helps to decrease the stability time in pH measurement, with 200uS/cm being the most effective conductivity for pH measurement.

Keywords: low conductivity; neutral electrolytes; stability; pH; precision; accuracy

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del pH, el parámetro químico que se mide con mayor frecuencia en las aguas naturales, es un requisito previo para comprender la distribución de los oligoelementos en sus diferentes formas en las aguas naturales (incluidas las aguas dulces, las aguas de estuarios y el agua de mar). Los estudios de aguas naturales plantean algunos casos raros en los que el pH debe tener una mayor importancia en términos de actividad o concentración de iones de hidrógeno (Saalidong et al., 2022).

La medición precisa del pH es fundamental para la mayoría de los estudios ambientales e hidrogeológicos. Por lo cual, en los estudios del efecto de la deposición ácida, la medición rigurosa del pH de la lluvia, la escorrentía superficial y el sector no saturada / aguas subterráneas, es importante implantar las fuentes de protones y los sumideros en las múltiples vías hidrológicas (Liu et al., 2020).

La medición precisa del pH en aguas de baja conductividad es difícil, pero posible, si se siguen los procedimientos adecuados. La calibración adecuada de electrodos con tampones no garantiza una medición precisa del pH en aguas de baja conductividad (Villasana et al., 2022).

El pH de las aguas naturales y, en especial, las muestras de agua dulce mal tamponadas no son estables, pero se puede modificar con el tiempo:

- a) Los equilibrios iónicos en solución están sujetas a la temperatura.
- b) las porciones de gases disueltos presentes cambian por reequilibrio con la atmósfera, fotosíntesis, respiración o procesos de degradación microbiana.
- c) Se genera reacción con sólidos en suspensión que no permanecen en equilibrio químico con el agua (Grochowska, 2020).

Para aguas naturales, se han recomendado mediciones de pH in situ. Las muestras tienen que recolectarse en botellas de vidrio borosilicato bien lavadas y oscurecidas, las cuales deben enjuagarse antes con la muestra y después llenarse enteramente para que una vez que se vuelva a poner el tapón, este desplace el agua en el cuello evitando el ingreso de aire (Chen et al., 2020). Idealmente, la botella debería seguir estando a la temperatura in situ del agua natural y el pH medido a la misma temperatura.

Una vez que esto no sea viable, la medición debería desarrollarse a otra temperatura y el pH in situ calculado desde la dependencia de la temperatura de las constantes de seguridad de carbonatos. Se ha demostrado que la fotosíntesis en botellas selladas cambia el pH de 7,8 a 9,3 en dos horas. El oscurecimiento de la botella estimula la respiración, lo que cambia el pH de 7,8 a 7,3 al mismo tiempo (Covington et al., 1985).

La medición del pH es muy importante para evaluar la calidad del agua, y no solo se usa para determinar si el agua es ácida, básica o neutra, sino también para inferir la composición química de otras sustancias presentes en el agua (Bouaroudj et al., 2019). El uso directo para identificar las diferentes sustancias que se pueden encontrar en el agua, es la interpretación del diagrama de Pourbaix.

Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas. Una fuente de variabilidad es la matriz del agua, es decir, las propiedades del agua en función del número de iones disueltos (Kanoun et al., 2021). La medición fiable del pH en soluciones acuosas diluidas y mal tamponadas es un problema. Los errores que ocurren debido a la diferencia en la fuerza iónica, las soluciones de calibración y la muestra de prueba, son de particular interés. Son comunes los errores de 0,2 unidades de pH y superiores (Ma et al., 2019).

Considerando que el error se debe a la baja cantidad de iones, podemos establecer que aumentando las concentraciones de iones se podría mejorar la precisión (es decir disminuir la variabilidad) en este tipo de aguas.

Mejorar la medición del pH mediante la reducción de la incertidumbre en una fuente es importante para aumentar la precisión en la interpretación de los datos, algunos autores han enfatizado que los problemas con la medición e interpretación del pH se han vuelto agudos para muestras diluidas y mal tamponadas, como el agua de lluvia. La medición del pH en agua dulce ha recibido subjetivamente escasa atención y no existe un procedimiento aceptado correcto para obtener datos de alta exactitud (Cakmak et al., 2021). Hacer el análisis de variabilidad y su respectivo mejoramiento va a ser de utilidad para la sociedad técnica y científica en relación con las mediciones de pH en aguas de baja conductividad.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue determinar el mejoramiento en la precisión de la medición del pH en aguas de baja conductividad por la adición de un electrolito neutro; siendo los objetivos específicos: determinar las correlaciones entre las variables de pH, conductividad eléctrica y tiempo de estabilización, determinar la disminución del tiempo de estabilización en función a la conductividad eléctrica, determinar la disminución de la desviación estándar de la medición de pH en función a la conductividad eléctrica, y determinar la conductividad mínima necesaria para obtener la mejor precisión en la medición del pH.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, puesto que el fenómeno en estudio es medible y observable (precisión, electrolitos neutros); además, es un proceso sistemático y ordenado. Tiene un diseño correlacional-experimental, pues pretende determinar la relación entre los electrolitos neutros y la precisión; y se manipulará intencionalmente la variable independiente (electrolitos neutros), para analizar las consecuencias que tiene sobre la variable dependiente (precisión de la medición del pH).

2.1. Procedimiento

Preparación de soluciones con electrolitos neutros:

- Preparación de las soluciones de Ácido clorhídrico (HCl), Hidróxido de sodio (NaOH), Cloruro de potasio (KCl) y Cloruro de sodio (NaCl) a una concentración de 0,1 M.
- Preparación del agua con pH 7,0 en 3 frascos de 50, 100, 200 uS/cm, con una adición de KCl; 3 frascos de 50, 100, 200 uS/cm, con una adición de NaCl; y adicionalmente se prepara un frasco de pH 7,0 sin adicionar alguna solución.
- Se prepara el agua desionizada, agregándole HCl para llevarlo a un pH 3,0; 4,0; 5,0 y 6,0 luego se sigue el procedimiento anterior.
- Se prepara el agua desionizada, agregando NaOH para subir el pH a 8,0; 9,0; 10,0 y 11,0 luego seguir el procedimiento del primer punto.

Medición de pH con adición de electrolitos: Una vez preparadas las soluciones y agregados los electrolitos se midió el pH, realizando 2 repeticiones por frasco, tomando también el tiempo que demora en estabilizarse.

Técnicas de análisis de datos: El estudio de datos se realizó en el programa estadístico denominado MiniTab, aplicando la prueba de Anderson Darling para verificar la distribución de la normalidad y finalmente se usó la prueba de Spearman para encontrar la correlación entre los datos.

3. RESULTADOS

Para el desarrollo de la investigación se realizó mediciones de pH, conductividad eléctrica y el tiempo de estabilización del pH. Los resultados del resumen de los estadísticos descriptivos para pH y conductividad eléctrica se muestran en las Tablas del 1 al 5.

Tabla 1.*Resumen de estadísticos descriptivos para pH*

Variable	pH de estudio	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
pH respuesta	3	24	2.9962	0.0231	0.1132	0.0128	3.78	2.77	2.9125	2.995	3.0775	3.19	0.42
	4	24	4.0096	0.0219	0.1074	0.0115	2.68	3.81	3.9525	4.01	4.0475	4.29	0.48
	5	24	4.985	0.0191	0.0935	0.0087	1.88	4.76	4.9275	4.985	5.055	5.17	0.41
	6	24	6.0096	0.022	0.1076	0.0116	1.79	5.76	5.9325	5.985	6.0725	6.23	0.47
	7	24	7.0108	0.0405	0.1983	0.0393	2.83	6.54	6.8975	6.99	7.075	7.53	0.99
	8	24	8.0167	0.0221	0.1081	0.0117	1.35	7.77	7.9525	8.015	8.0675	8.32	0.55
	9	24	8.9983	0.0224	0.1097	0.012	1.22	8.71	8.945	9.02	9.0575	9.24	0.53
	10	24	9.9992	0.0262	0.1285	0.0165	1.28	9.74	9.9425	9.985	10.0575	10.33	0.59
	11	24	10.986	0.0255	0.125	0.0156	1.14	10.61	10.922	10.99	11.078	11.21	0.6

Tabla 2.*Resultados estadísticos de conductividad eléctrica 0 uS/cm*

Variable	pH de estudio	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Conductividad Real (uS/cm)	3	6	87.15	0.399	0.977	0.955	1.12	85.8	86.325	87.15	88.025	88.4	2.6
	4	6	46.867	0.317	0.776	0.603	1.66	45.8	46.025	47.05	47.55	47.7	1.9
	5	6	27.517	0.0872	0.214	0.0457	0.78	27.3	27.375	27.45	27.675	27.9	0.6
	6	6	14.667	0.173	0.423	0.179	2.88	14.3	14.375	14.45	15.15	15.3	1
	7	6	4.85	0.243	0.596	0.355	12.28	4.2	4.275	4.75	5.525	5.6	1.4
	8	6	14.967	0.233	0.572	0.327	3.82	14.1	14.475	15	15.475	15.7	1.6
	9	6	27.333	0.123	0.301	0.091	1.1	26.9	27.05	27.35	27.625	27.7	0.8
	10	6	46.267	0.341	0.836	0.699	1.81	45.5	45.575	46.05	46.95	47.7	2.2
	11	6	87.417	0.3	0.736	0.542	0.84	86.4	86.7	87.55	87.9	88.5	2.1

Tabla 3.*Resultados estadísticos de conductividad eléctrica 50 uS/cm*

Variable	pH de estudio	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Conductividad Real (uS/cm)	3	6	137.17	0.477	1.17	1.37	0.85	136	136	137	138.25	139	3
	4	6	99.2	1.44	3.54	12.51	3.57	95.9	96.2	98	103.25	104	8.1
	5	6	87.25	0.128	0.315	0.099	0.36	86.9	86.9	87.25	87.6	87.6	0.7
	6	6	57.567	0.219	0.535	0.287	0.93	57.1	57.175	57.35	58.05	58.5	1.4
	7	6	55.933	0.323	0.792	0.627	1.42	55.1	55.25	55.8	56.8	56.8	1.7
	8	6	57.917	0.135	0.331	0.11	0.57	57.4	57.625	57.95	58.225	58.3	0.9
	9	6	86.517	0.133	0.325	0.106	0.38	85.9	86.35	86.6	86.725	86.8	0.9
	10	6	102.67	0.667	1.63	2.67	1.59	101	101	102.5	104.25	105	4
	11	6	138.83	1.35	3.31	10.97	2.39	134	136.25	138.5	142.25	143	9

Tabla 4.*Resultados estadísticos de conductividad eléctrica 100 uS/cm*

Variable	pH de estudio	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Conductividad Real (uS/cm)	3	6	182.17	0.477	1.17	1.37	0.64	181	181	182	183.25	184	3
	4	6	146.17	0.601	1.47	2.17	1.01	144	144.75	146.5	147.25	148	4
	5	6	124	0.577	1.41	2	1.14	122	122.75	124	125.25	126	4
	6	6	114.5	0.764	1.87	3.5	1.63	112	112.75	114.5	116.25	117	5
	7	6	107.17	0.543	1.33	1.77	1.24	105	106.5	107	108.25	109	4
	8	6	113	0.577	1.41	2	1.25	111	111.75	113	114.25	115	4
	9	6	125.5	0.764	1.87	3.5	1.49	123	123.75	125.5	127.25	128	5
	10	6	144.5	1.36	3.33	11.1	2.31	139	141.25	146	146.5	148	9
	11	6	184.33	1.54	3.78	14.27	2.05	179	180.5	185	187.5	189	10

Tabla 5.*Resultados estadísticos de conductividad eléctrica 200 uS/cm*

Variable	pH de estudio	N	Media	Error estándar de la media	Desv. Est.	Varianza	Coef. Var.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango
Conductividad Real (uS/cm)	3	6	276.5	0.619	1.52	2.3	0.55	274	275.5	276.5	278	278	4
	4	6	260	1.88	4.6	21.2	1.77	254	255.5	260	264.5	266	12
	5	6	225.17	0.872	2.14	4.57	0.95	223	223	225	227.25	228	5
	6	6	205.67	2.54	6.22	38.67	3.02	198	198.75	206.5	211	214	16
	7	6	206.5	0.764	1.87	3.5	0.91	204	204.75	206.5	208.25	209	5
	8	6	209.5	1.38	3.39	11.5	1.62	206	206.75	208.5	213.25	214	8
	9	6	225	0.966	2.37	5.6	1.05	222	222.75	225	227.25	228	6
	10	6	258.5	0.764	1.87	3.5	0.72	256	256.75	258.5	260.25	261	5
	11	6	279.17	0.792	1.94	3.77	0.7	277	277.75	278.5	281.25	282	5

3.1. Análisis de resultados de pH

Para poder determinar que los resultados de cada pH presentan una distribución normal, se realiza la prueba de Anderson Darling, cuyo “p” debe ser mayor o igual a 0,05.

Las pruebas individuales se encuentran en el Anexo 1; mientras que el resumen de las pruebas de Anderson Darling se muestra en las Tablas de 1 al 6.

Tabla 6.

Resultados estadísticos de conductividad eléctrica 100 uS/cm

Prueba Anderson Darling		
pH	A. cuadrado	P value
3	0,33	0,49
4	0,43	0,285
5	0,23	0,794
6	0,55	0,139
7	0,67	0,071
8	0,7	0,059
9	0,66	0,073
10	0,66	0,075
11	0,46	0,239

De acuerdo con los valores p de la prueba de Anderson Darling, se muestra que las mediciones para cada pH tienen una distribución normal, debido a que son mayores a 0,05.

3.2. Análisis de resultados de conductividad eléctrica

Para poder determinar que los resultados de conductividad eléctrica por cada valor de pH presentan una distribución normal, se realiza la prueba de Anderson Darling, cuyo p debe ser mayor o igual a 0,05.

El resumen de las pruebas se muestra en las Tablas del 7 al 10; las pruebas individuales se encuentran en el Anexo 2.

Tabla 7.

Prueba de Anderson Darling - Conductividad eléctrica 0

Prueba Anderson Darling			
pH	C.E Objetivo	A. cuadrado	P value
3	0	0,2	0,788
4	0	0,29	0,482
5	0	0,38	0,27
6	0	0,62	0,056
7	0	0,31	0,443
8	0	0,13	0,954
9	0	0,16	0,903
10	0	0,33	0,369
11	0	0,24	0,615

Tabla 8.

Prueba de Anderson Darling - Conductividad eléctrica 50

Prueba Anderson Darling			
pH	C.E Objetivo	A. cuadrado	P value
3	50	0,31	0,428
4	50	0,44	0,184
5	50	0,36	0,309
6	50	0,47	0,153

7	50	0,53	0,102
8	50	0,17	0,869
9	50	0,6	0,064
10	50	0,26	0,573
11	50	0,19	0,831

Tabla 9.*Prueba de Anderson Darling - Conductividad eléctrica 100*

Prueba Anderson Darling			
pH	C.E Objetivo	A. cuadrado	P value
3	100	0,31	0,428
4	100	0,22	0,708
5	100	0,17	0,877
6	100	0,14	0,947
7	100	0,38	0,275
8	100	0,17	0,877
9	100	0,14	0,947
10	100	0,52	0,112
11	100	0,19	0,831

Tabla 10.*Prueba de Anderson Darling - Conductividad eléctrica 200*

Prueba Anderson Darling			
pH	C.E Objetivo	A. cuadrado	P value
3	200	0,32	0,398
4	200	0,16	0,905
5	200	0,33	0,384
6	200	0,25	0,603
7	200	0,14	0,947
8	200	0,4	0,245
9	200	0,21	0,752
10	200	0,14	0,947
11	200	0,33	0,38

Mediante las pruebas de Anderson Darling para las mediciones de conductividad se muestra que todos los valores de p son mayores a 0,05, por lo tanto, se infiere que los grupos de medidas cumplen con la distribución normal.

3.3. Determinación de la correlación entre pH, conductividad eléctrica y el tiempo de estabilidad

Para el análisis de correlación se hace uso de las pruebas de Pearson y Spearman. La prueba de Pearson es una prueba paramétrica y de Spearman es una prueba no paramétrica.

Para hacer uso de la prueba paramétrica los datos de la variable dependiente deben cumplir ciertos requisitos, los cuales son: ser datos numéricos de intervalo o de razón, cumplir la prueba de normalidad y la homocedasticidad. La variable continua en nuestro estudio es el "tiempo de estabilidad", los cuales son datos numéricos de intervalo; la prueba de normalidad y homocedasticidad los presentaremos a continuación:

De acuerdo con la Figura 1, podemos deducir que los datos de estabilidad de medición del pH no cumplen con la prueba de normalidad, debido a que el valor p es menor a 0,005 por lo tanto, para determinar la correlación entre las variables del tiempo de estabilidad con la conductividad eléctrica o con el pH hacemos uso de la prueba de correlación de Spearman.

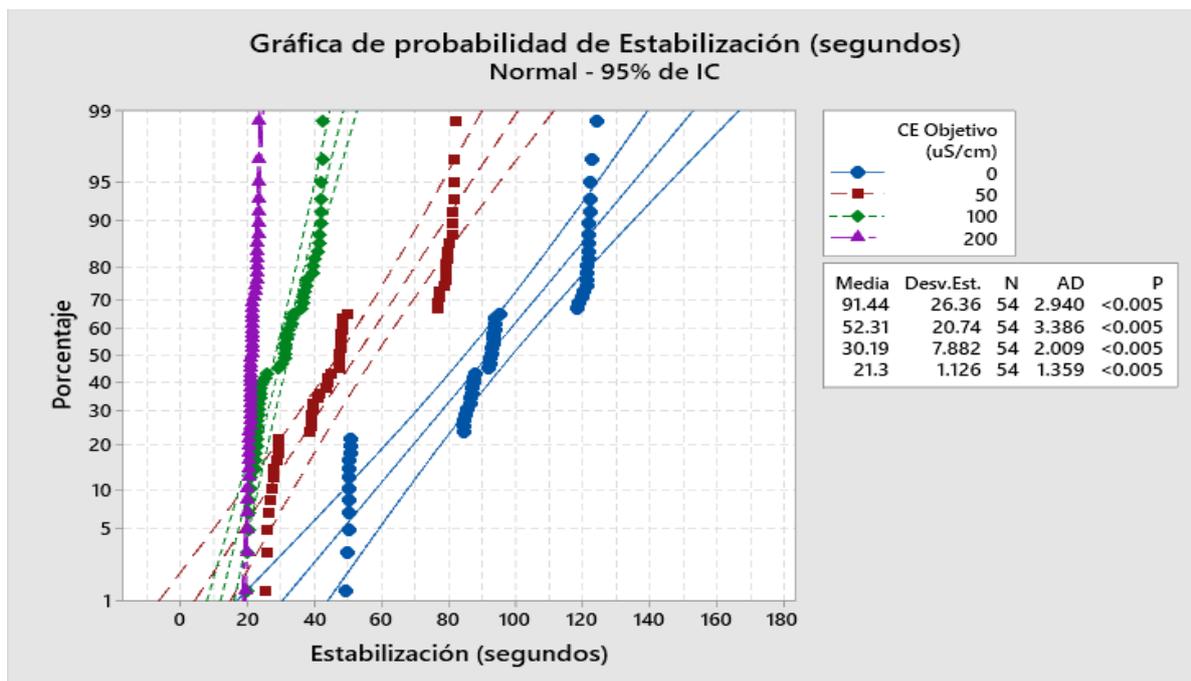


Figura 1. Prueba de normalidad de Anderson-Darling

Según la Figura 2, se observa que la única correlación significativa del tiempo de estabilidad de medición del pH está en función a la conductividad eléctrica, debido a que tiene un valor p menor a 0,005 y un coeficiente de correlación de -0,966.

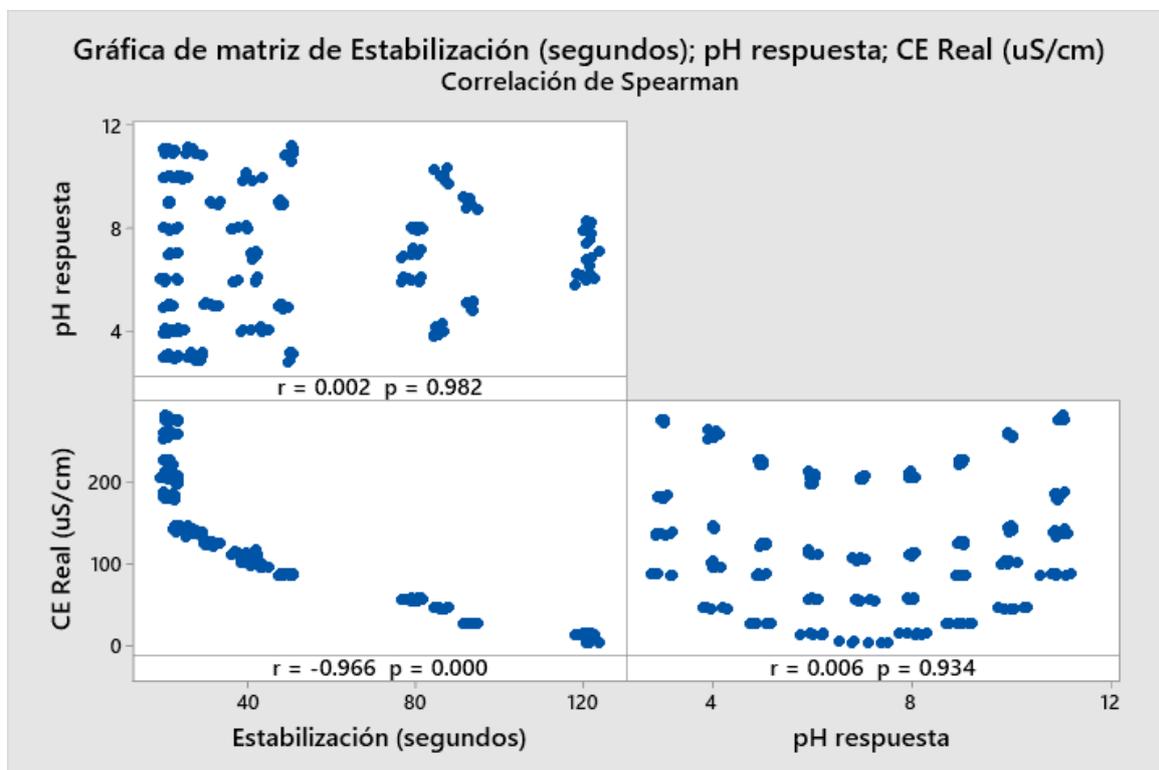


Figura 2. Correlación: estabilización (s); pH respuesta; CE Real (uS/cm)

De acuerdo con la metodología de ensayos para la medición de pH descrita en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”. La Association American Public health (APA, 2017) indica que el

tiempo de estabilización debe ser de 30 segundos. Realizando un análisis descriptivo del tiempo de estabilidad para cada conductividad la cual se muestra en la Figura 3.

De lo mostrado en la Figura 3 podemos decir que se mejora el tiempo de estabilidad a medida que aumenta la conductividad eléctrica, requiriendo como mínimo recomendable una conductividad eléctrica de 200 uS/cm como mínimo para obtener un tiempo de estabilidad menor a 30 segundos. Ahora analizamos el mejoramiento de la precisión de la medición del pH en función a la conductividad, la cual es mostrada en la Figura 4.

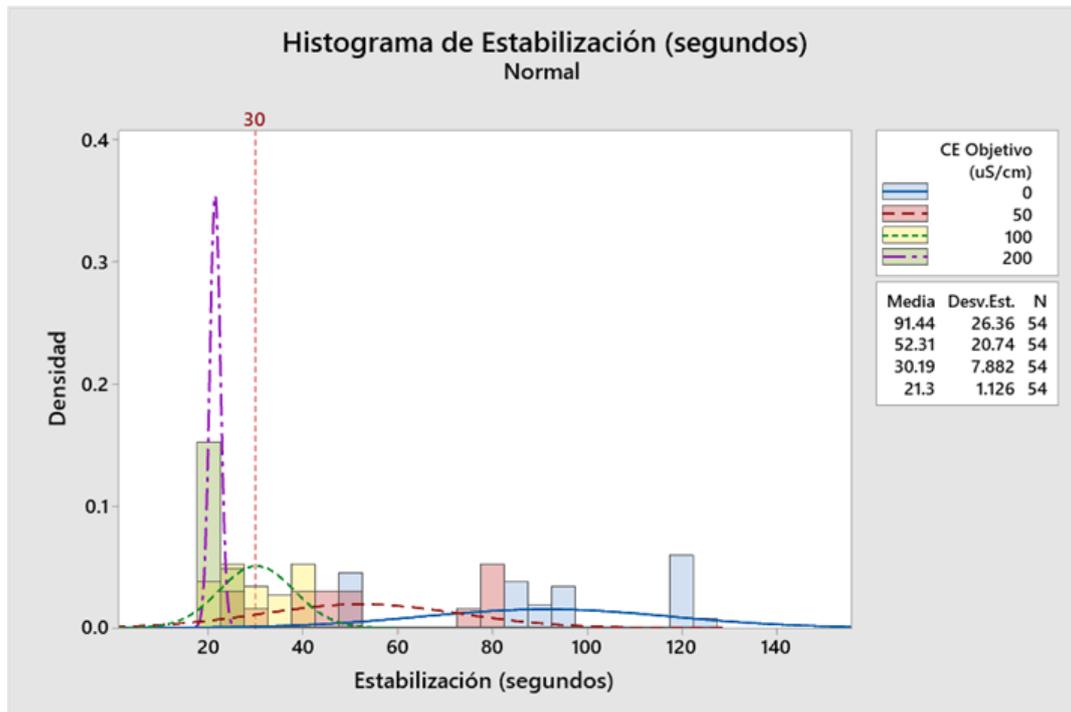


Figura 3. Estadística descriptiva del tiempo de estabilidad de medición del pH

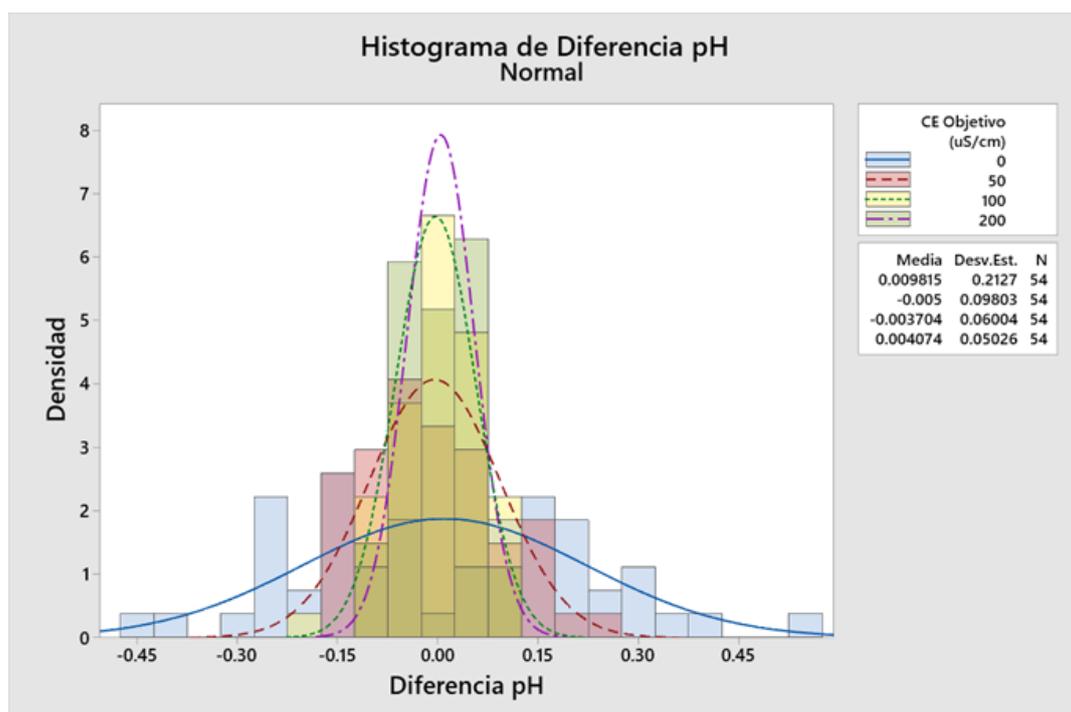


Figura 4. Precisión de la medición de pH para varias conductividades

Según lo mostrado en la Figura 4 podemos decir la desviación estándar disminuye a media que aumenta la conductividad eléctrica, siendo 0,213 para una conductividad cercana a 0 uS/cm y 0,050 para una conductividad eléctrica de 200 uS/cm.

Se planteó como problemática ¿Cuánto mejora la precisión de medición del pH en aguas de baja conductividad por la adición de electrolitos neutros? Dicha precisión determinó que mejora a medida que aumenta la conductividad eléctrica, teniendo una desviación de 0,213 para 0 uS/cm, 0,098 para 50 uS/cm, 0,06 para 100 uS/cm y 0,050 para 200 uS/cm. Según lo indicado en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APA, 2017) para la medición de pH debe ser menor a 0,10; es decir para aguas de baja conductividad eléctrica no cumple con dicha precisión, esto se mejora con el aumento de la conductividad eléctrica que es inducida por la adición de los electrolitos.

De la misma forma podemos ver que el tiempo de estabilidad se mejora con la adición de los electrolitos, siendo 91 s para 0 uS/cm, 52 s para 50 uS/cm, 30 s para 100 uS/cm y 21 s para 200 uS/cm. Lo indicado en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APA, 2017) para la medición de pH debe ser 30 s, por lo tanto, el más efectivo sería a una conductividad mayor a 200 uS/cm.

La hipótesis planteada es que “la adición de un electrolito neutro mejora la precisión de la medición de pH en aguas de baja conductividad y no afecta la veracidad del pH”, para lo cual se contrasta con los resultados demostrados en la Figura 3 y 4, en la cual se observa que para una conductividad eléctrica de 0 uS/cm se tiene una desviación estándar de 0,213 s y para una conductividad de 200 uS/cm es de 0,050 s.

Para verificar que la veracidad del pH no ha sido afectada, realizamos la prueba *t* para muestras pareadas de lo cual se obtuvo que el valor *p* es de 0,877 la cual es mayor a 0,05, lo que indica que la variación del pH de estudio con el pH respuesta del equipo son similares, tal como podemos verlo en la Tabla 11.

Tabla 11.

IC y Prueba T pareada: pH de estudio; pH respuesta

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
pH de estudio	216	7,000	2,588	0,176
pH de respuesta	216	7,001	2,589	0,176

Tabla 12.

Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ
-0,0013	0,12276	0,008	(-0,01776; 0,01517)

Nota: diferencia_μ: media de (pH de estudio - pH respuesta)

Tabla 13.

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \text{diferencia}_\mu = 0$
Hipótesis alterna	$H_1: \text{diferencia}_\mu \neq 0$
Valor T	Valor p
-0,16	0,877

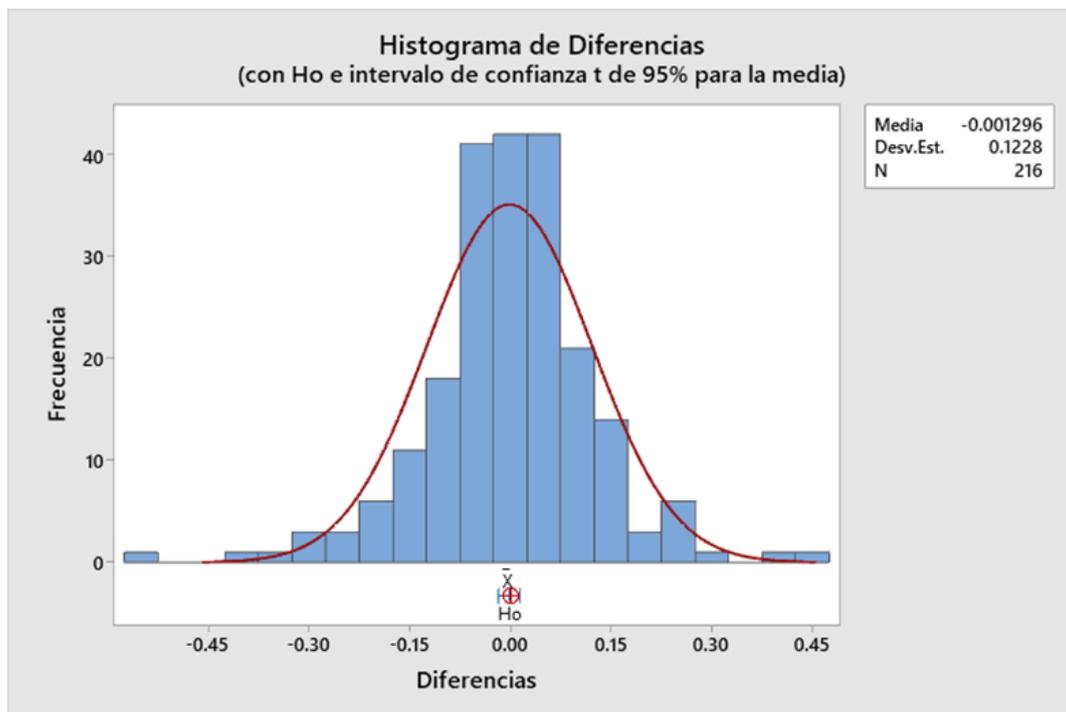


Figura 5. Histograma de diferencias

De los resultados mostrados y de lo indicado en el párrafo anterior podemos confirmar que se acepta la hipótesis de investigación planteada.

De ambos análisis de datos, para la precisión de medición del pH y para el tiempo de estabilidad podemos decir que se recomienda realizar mediciones con conductividades eléctricas mayores a 200 uS/cm.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de correlación de las medidas de pH, conductividad eléctrica y tiempo de estabilidad, se concluye que solamente existe una correlación significativa entre el tiempo de estabilidad y la conductividad eléctrica. El grado de correlación según la prueba de Spearman es de -0,966, es decir a medida que aumentamos la conductividad eléctrica disminuye el tiempo de estabilización. Es decir, la adición del electrolito neutro ayuda a disminuir el tiempo de estabilidad en la medición del pH.

Según el análisis de tiempo de estabilidad tuvimos 91 s para 0 uS/cm, 52 s para 50 uS/cm, 30 s para 100 uS/cm y 21 s para 200 uS/cm y lo que indica en el "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (APA, 2017), para la medición de pH debe ser 30 s, por lo tanto, el más efectivo sería a una conductividad mayor a 200 uS/cm.

Realizando el análisis de la diferencia del pH real con el pH objetivo con la conductividad eléctrica se demostró que a medida que aumenta la conductividad eléctrica, disminuye la desviación estándar de las mediciones de pH, siendo 0,213 para 0 uS/cm, 0,098 para 50 uS/cm, 0,06 para 100 uS/cm y 0,050 para 200 uS/cm. Para este caso podemos decir que para medir el pH con una precisión menor a 0,10 según la Association American Public health (APA, 2017) es necesario una conductividad mayor a 50 uS/cm.

De las afirmaciones anteriores podemos concluir que la conductividad mínima recomendable es de 200 uS/cm para obtener buenas mediciones de pH.

Como conclusión general podemos decir que la adición de los electrolitos neutros mejora la precisión de la medición del pH. Se recomienda realizar una investigación futura con una conductividad de 150 uS/cm debido a que es un intermedio del cumplimiento de la estabilidad del tiempo. Asimismo, se recomienda

realizar estudios para determinar una óptima concentración referente a la conductividad eléctrica, para poder obtener tanto una mejor precisión como estabilización en la medición del pH.

FINANCIAMIENTO

Ninguno

CONFLICTO DE INTERESES

El artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Pérez-Tucto, D. F., Ventura-Zuloeta, Y. L. & Vera-Zelada, P.: Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración del Proyecto, Supervisión, Visualización, Redacción - borrador original y Redacción - revisión y edición.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

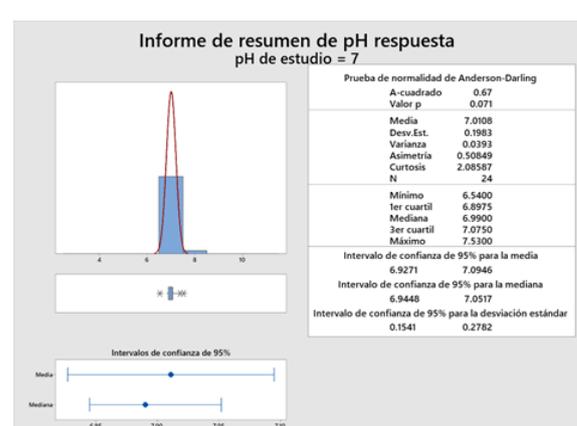
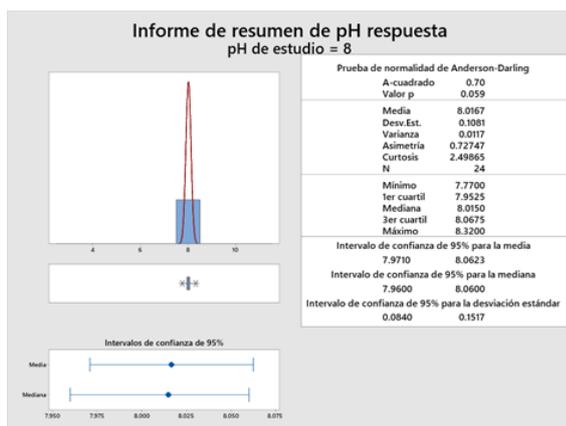
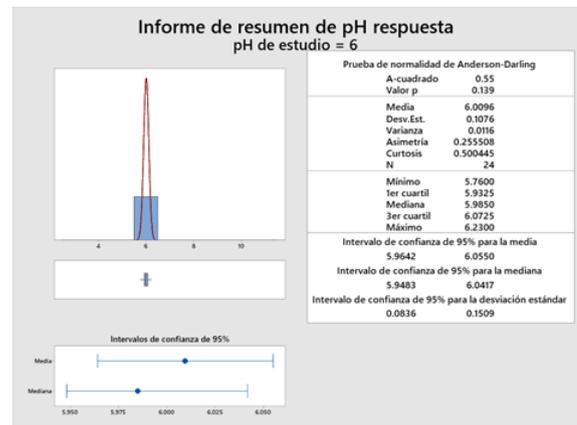
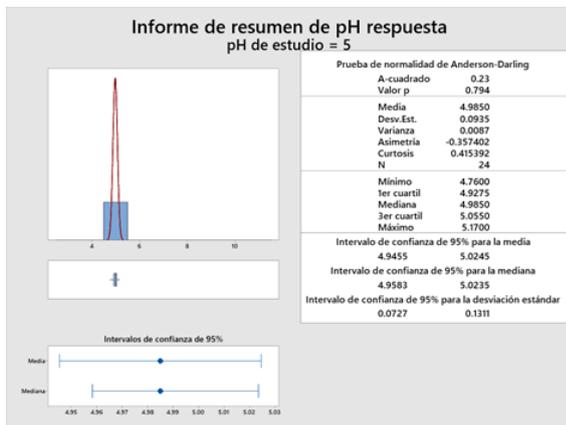
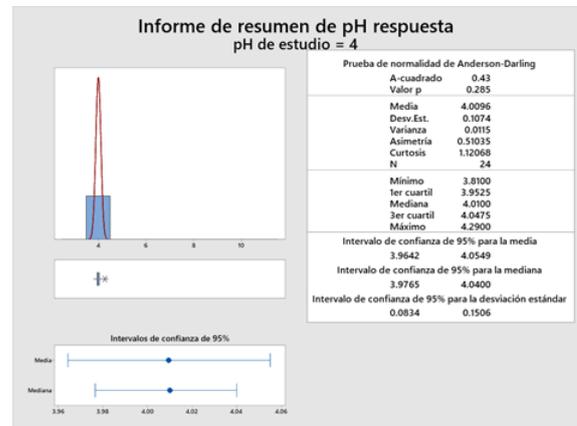
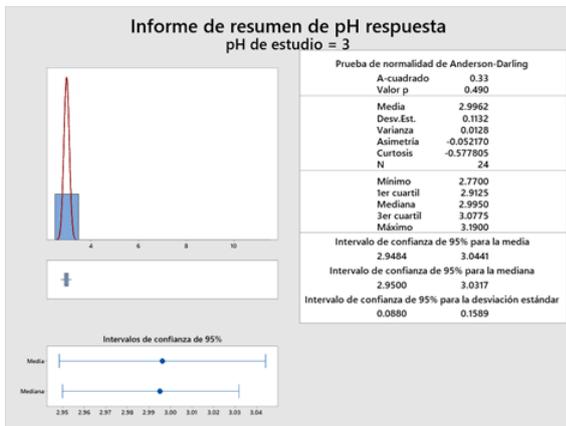
- APA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Psychological Association. <https://www.standardmethods.org/>
- Bouaroudj, S., Menad, A., Bounamous, A., Ali-Khodja, H., Gherib, A., Weigel, D. E., & Chenchouni, H. (2019). Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. *Chemosphere*, *219*, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.193>
- Cakmak, E. K., Ugurlu, A., & Anbaroglu, B. (2021). Adopting citizen science approach for water quality monitoring in Uzungöl, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, *193*(9), 604. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09395-2>
- Chen, K., Chen, H., Zhou, C., Huang, Y., Qi, X., Shen, R., Liu, F., Zuo, M., Zou, X., Wang, J., Zhang, Y., Chen, D., Chen, X., Deng, Y., & Ren, H. (2020). Comparative analysis of surface water quality prediction performance and identification of key water parameters using different machine learning models based on big data. *Water Research*, *171*, 115454. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.115454>
- Covington, A. K., Whalley, P. D., & Davison, W. (1985). Recommendations for the determination of ph in low ionic strength fresh waters. *Pure and Applied Chemistry*, *57*(6), 877–886. <https://doi.org/10.1351/PAC198557060877/MACHINEREADABLECITATION/RIS>
- Grochowska, J. (2020). Assessment of Water Buffer Capacity of Two Morphometrically Different, Degraded, Urban Lakes. *Water*, *12*(5), 1512. <https://doi.org/10.3390/w12051512>
- Kanoun, O., Lazarević-Pašti, T., Pašti, I., Nasraoui, S., Talbi, M., Brahem, A., Adiraju, A., Sheremet, E., Rodriguez, R. D., Ben Ali, M., & Al-Hamry, A. (2021). A Review of Nanocomposite-Modified Electrochemical Sensors for Water Quality Monitoring. *Sensors*, *21*(12), 4131. <https://doi.org/10.3390/s21124131>
- Liu, S., Butman, D. E., & Raymond, P. A. (2020). Evaluating CO₂ calculation error from organic alkalinity and pH measurement error in low ionic strength freshwaters. *Limnology and Oceanography: Methods*, *18*(10), 606–622. <https://doi.org/10.1002/lom3.10388>
- Ma, J., Shu, H., Yang, B., Byrne, R. H., & Yuan, D. (2019). Spectrophotometric determination of pH and carbonate ion concentrations in seawater: Choices, constraints and consequences. *Analytica Chimica Acta*, *1081*, 18–31. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.06.024>

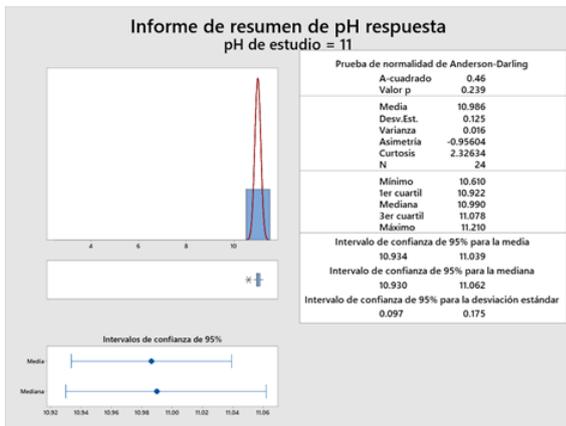
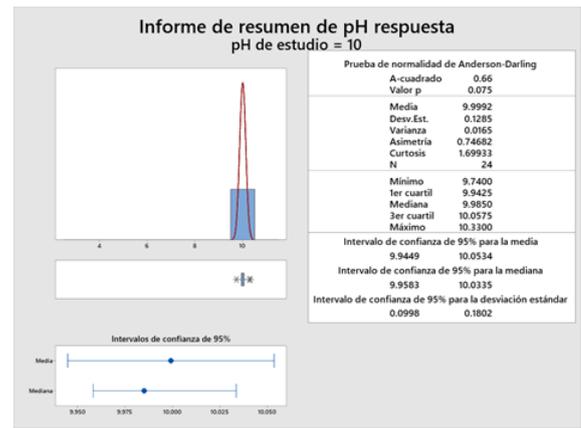
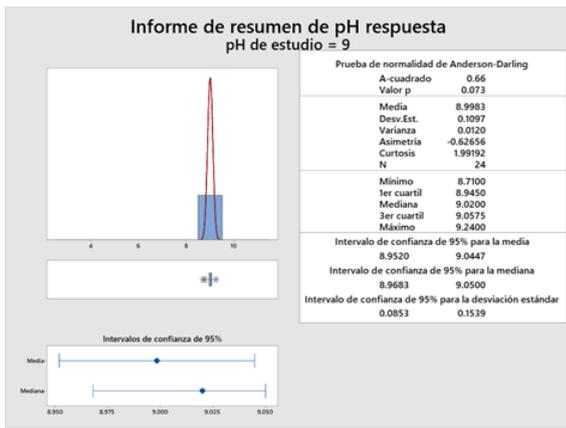
- Saalidong, B. M., Aram, S. A., Otu, S., & Larrey, P. O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PLOS ONE*, *17*(1), e0262117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117>
- Villasana, Y., Moradi, N., Navas-Cárdenas, C., & Patience, G. S. (2022). Experimental methods in chemical engineering: pH. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, *100*(8), 1703–1717. <https://doi.org/10.1002/cjce.24393>

ANEXOS

Anexo 1.

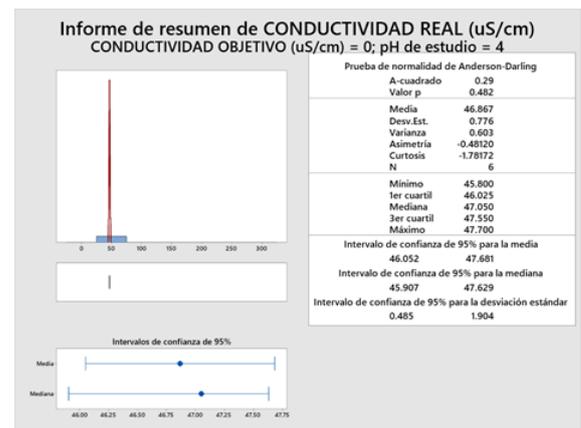
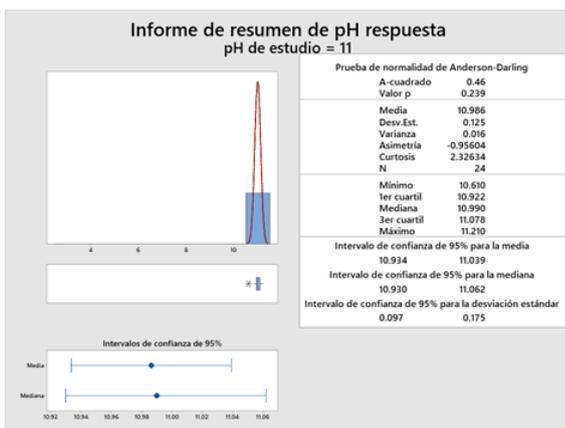
Pruebas individuales de Anderson Darling para pH

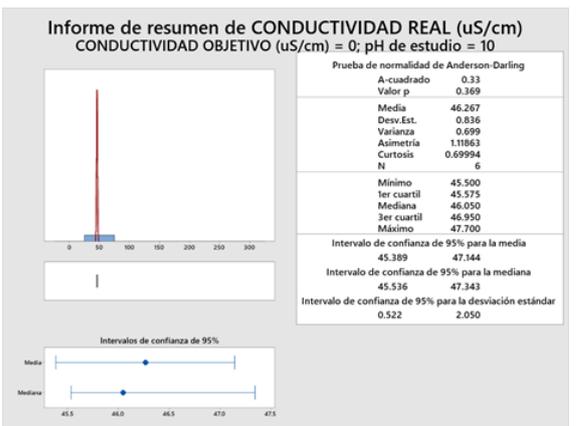
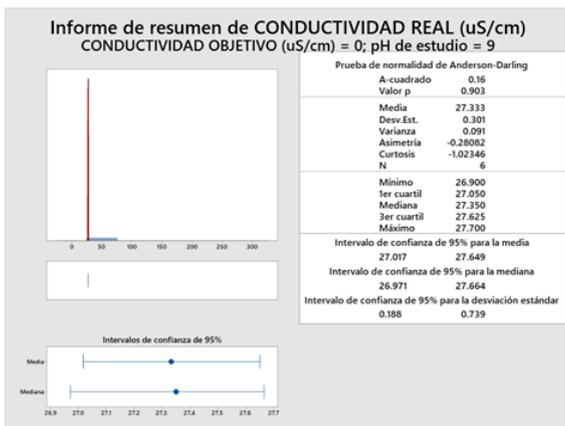
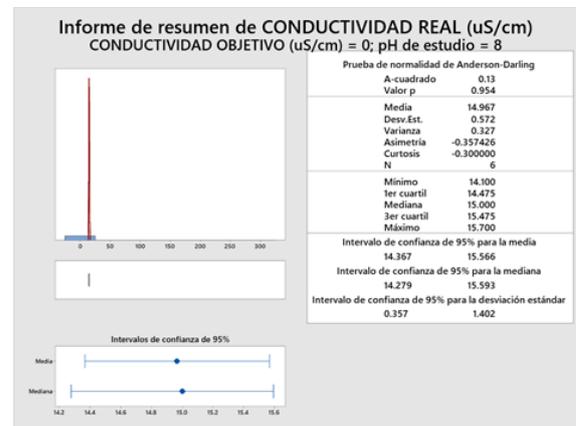
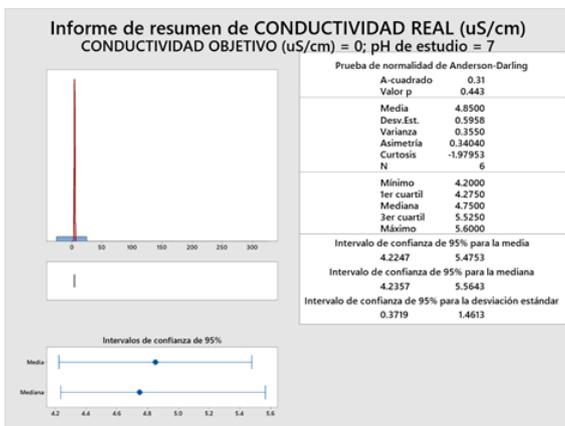
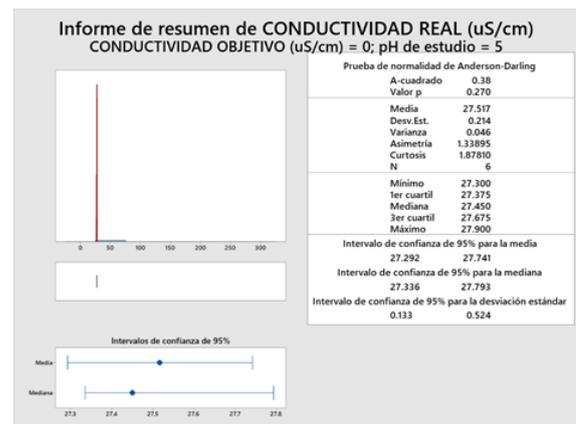
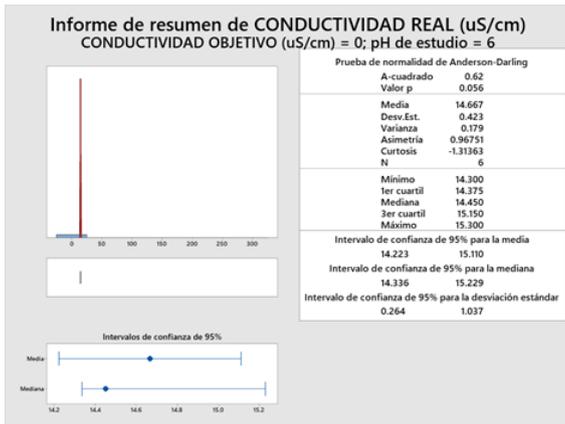


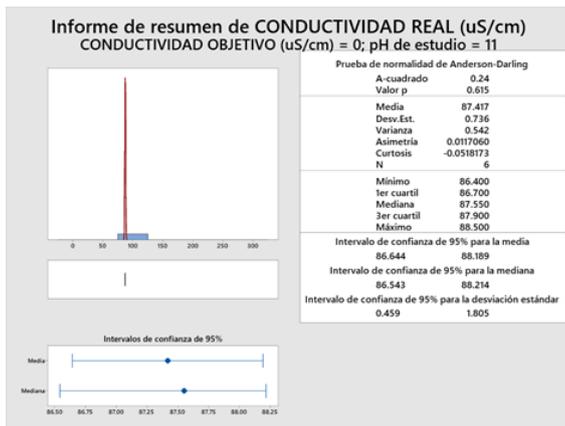


Anexo 2.

Pruebas individuales de Anderson Darling para Conductividad Eléctrica 0 uS/cm

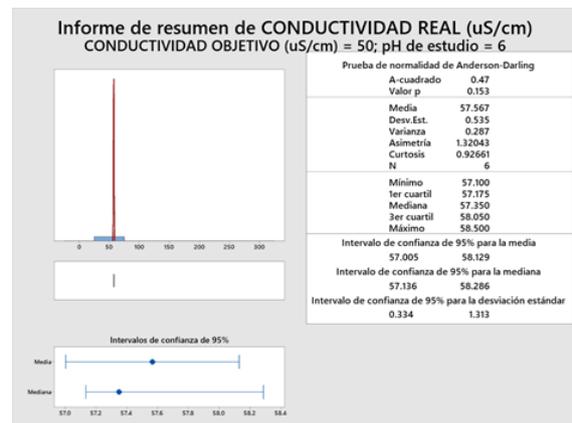
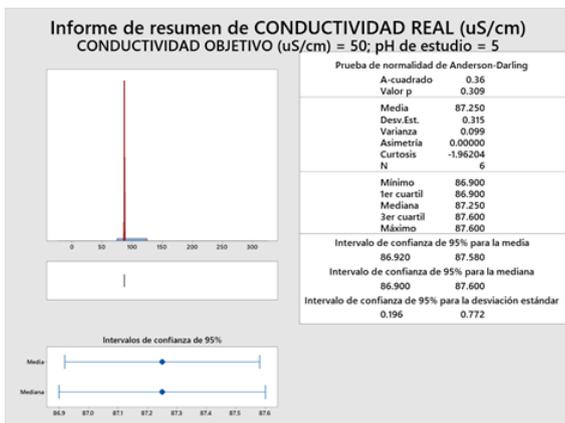
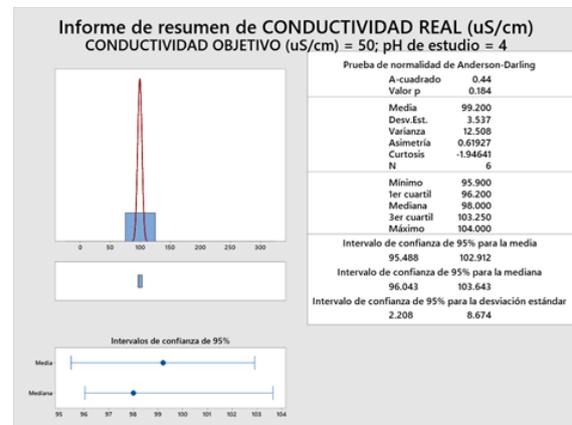
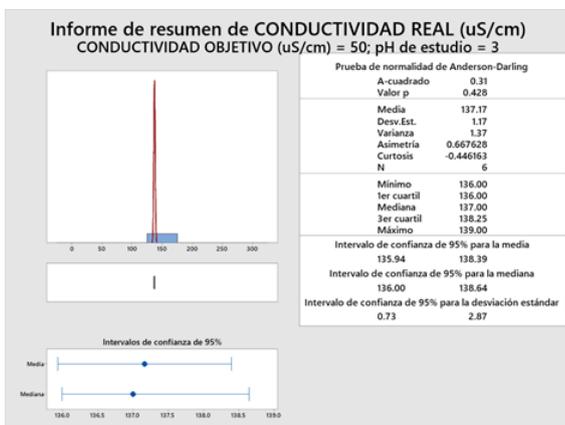


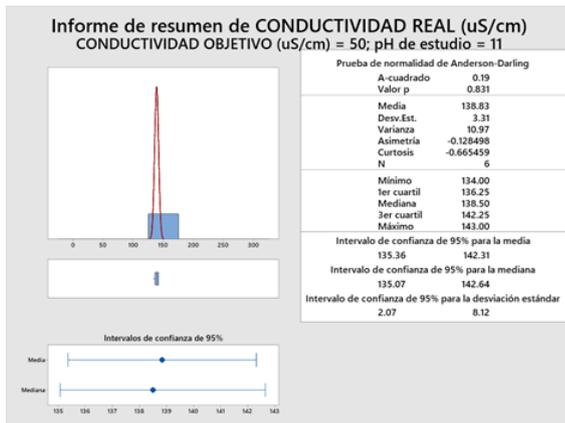
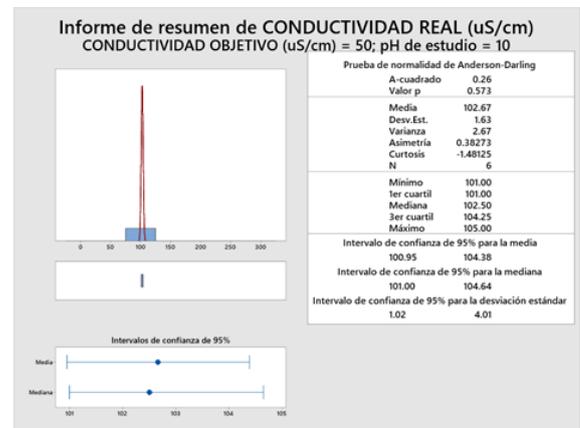
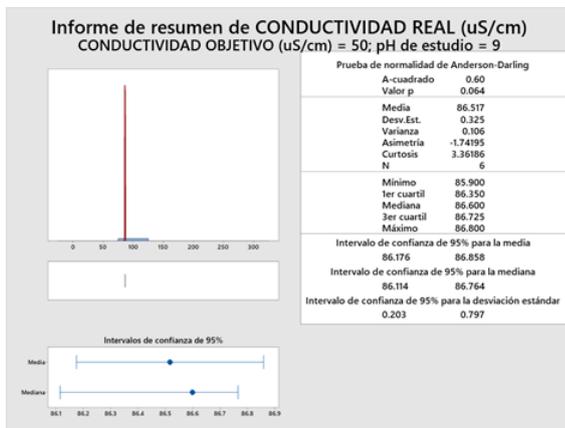
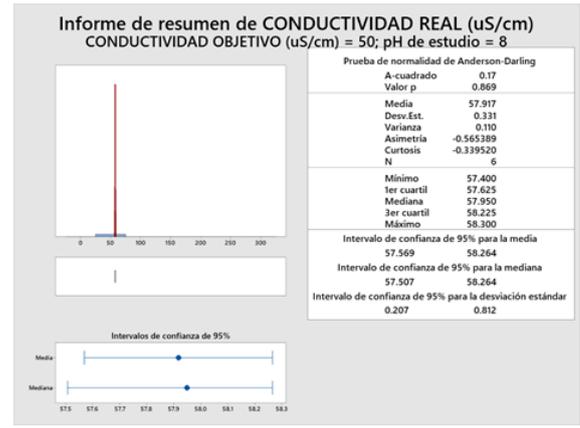
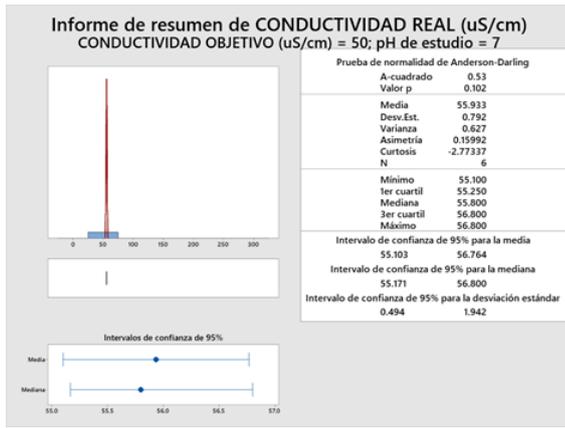




Anexo 3.

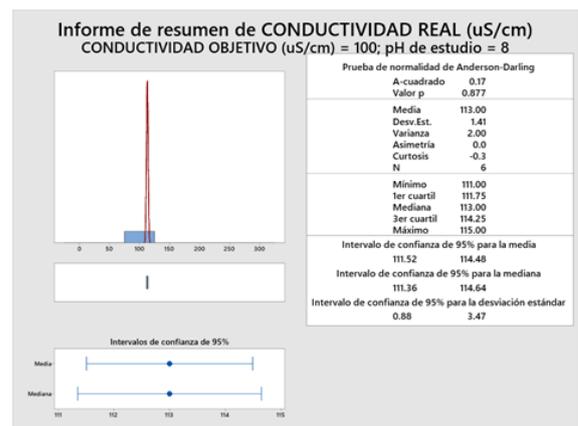
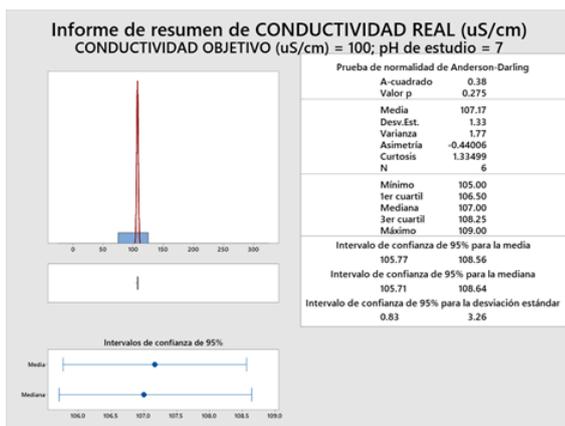
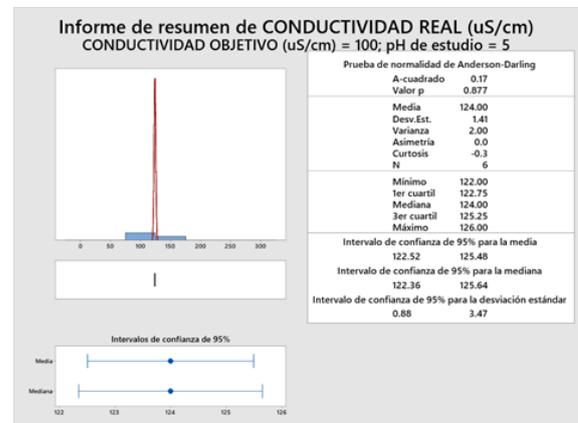
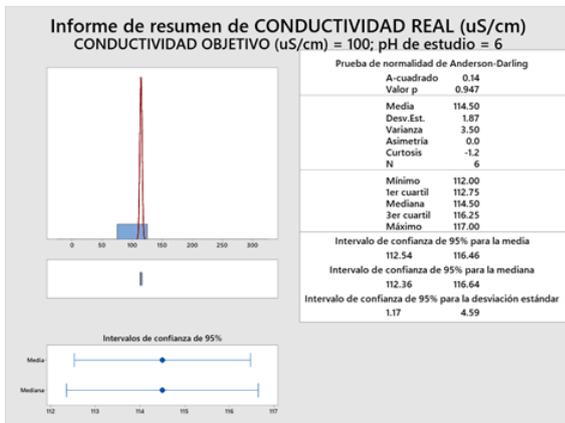
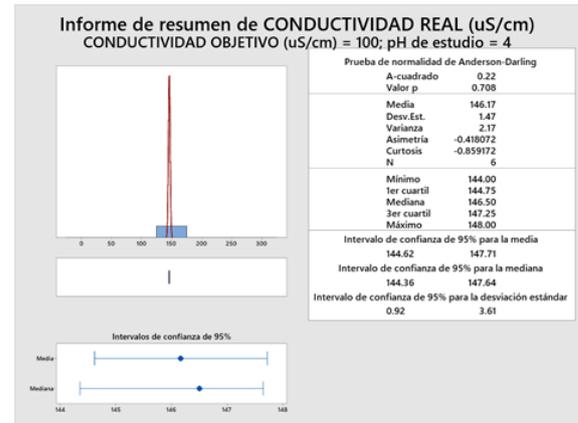
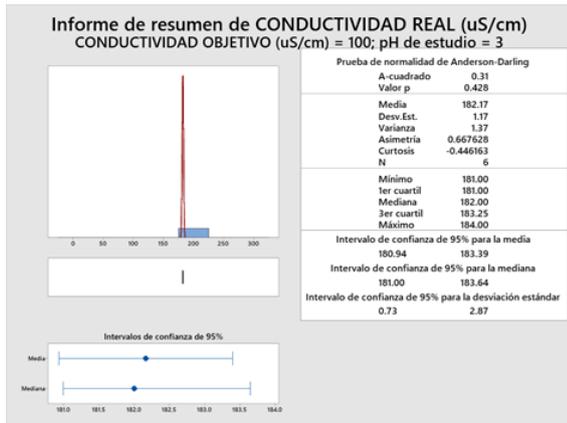
Pruebas individuales de Anderson Darling para Conductividad Eléctrica 50 uS/cm

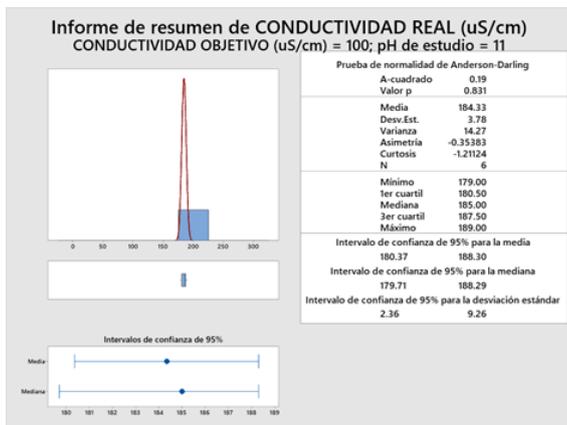
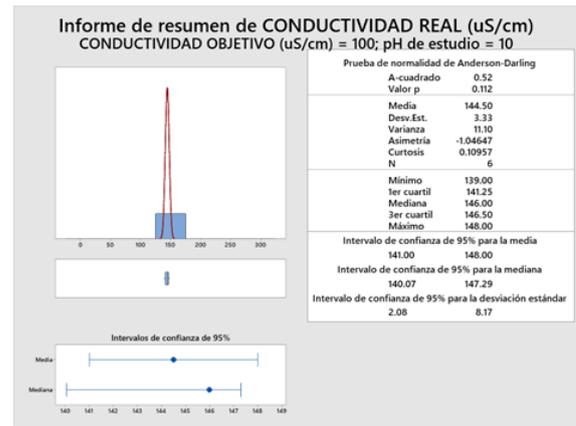
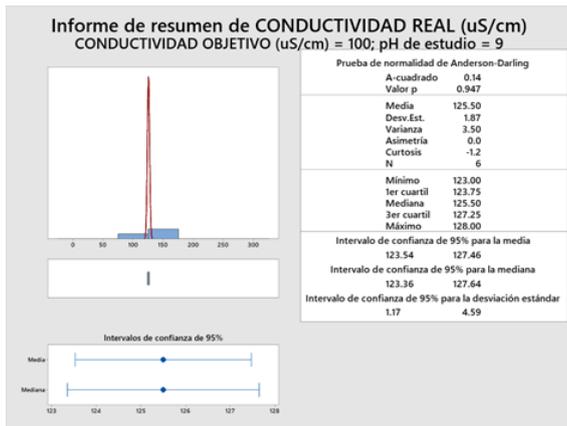




Anexo 4.

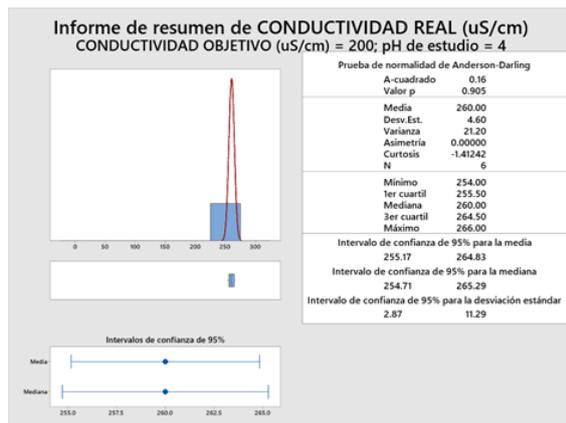
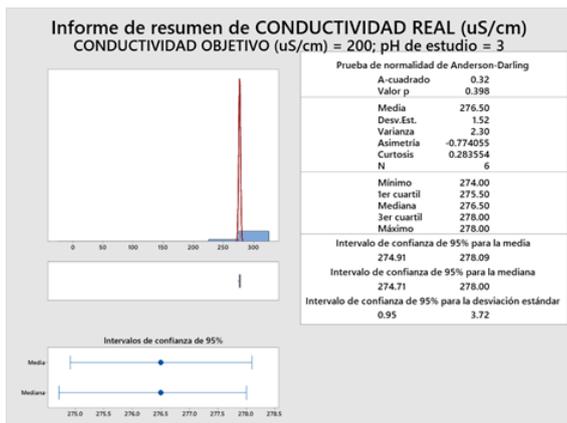
Pruebas individuales de Anderson Darling para Conductividad Eléctrica 100 uS/cm

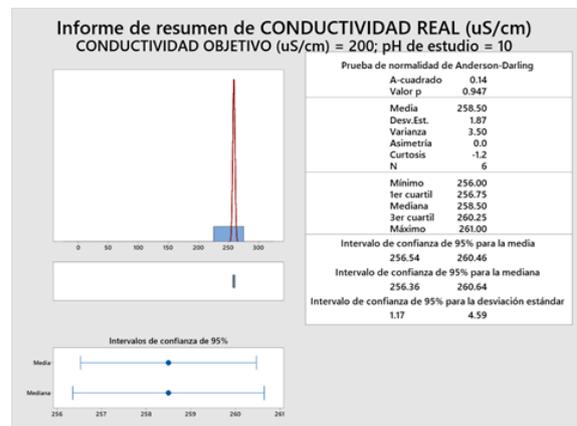
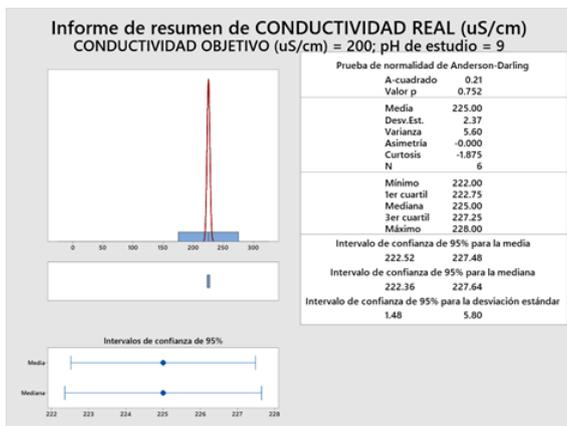
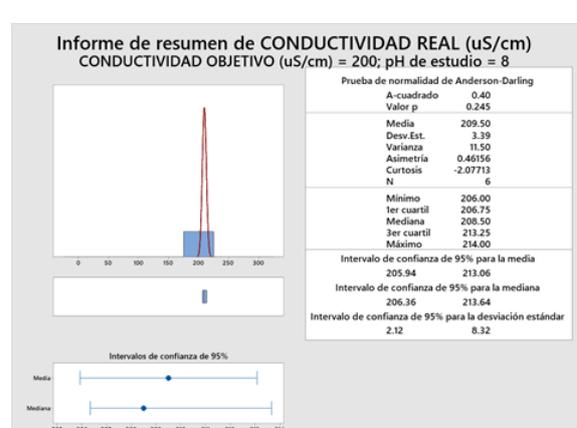
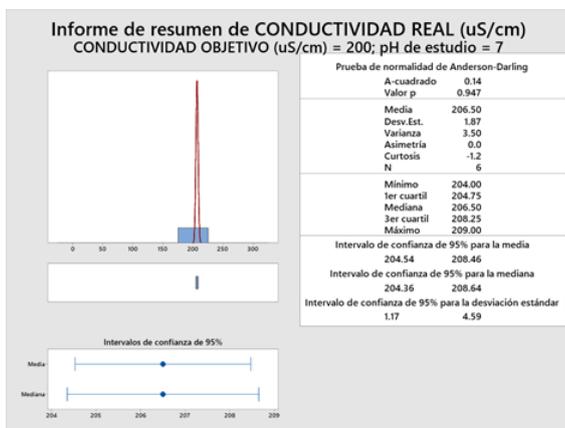
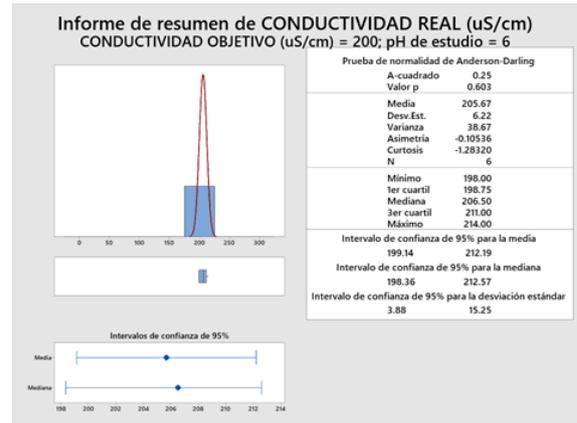
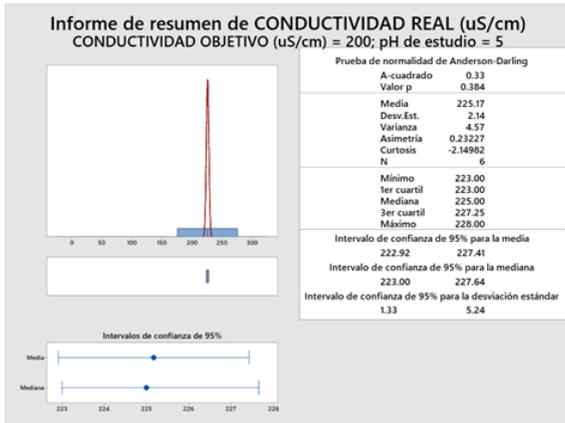


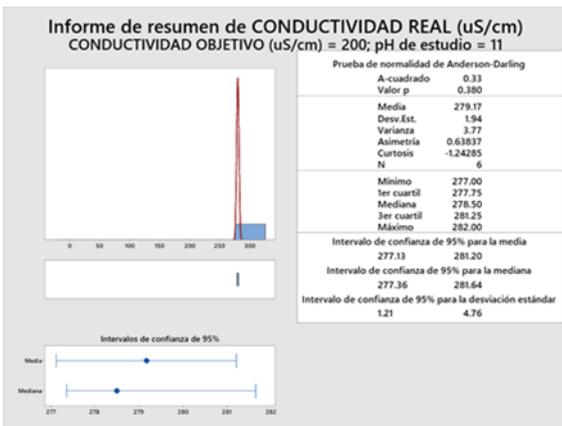


Anexo 5.

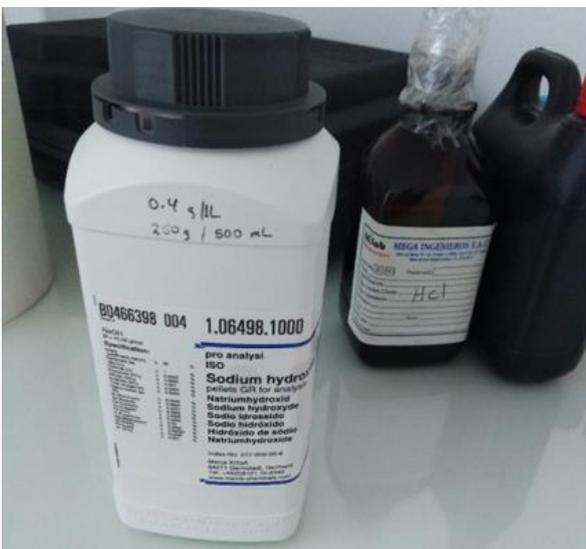
Pruebas individuales de Anderson Darling para Conductividad Eléctrica 200 uS/cm







Anexo 6.



Anexo 7.

Adición de los electrolitos neutros y medición del pH-conductividad

