



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 12 de julio de 2021

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

Los suscritos:

HUGO FERNANDO SÁNCHEZ CASALLAS, con C.C. No. 1.030.522.509

LUIS CARLOS GUTIÉRREZ PEÑA, con C.C. 1.032.442.261

Autores del trabajo de grado titulado: VERIFICACIÓN DE LA TRAZABILIDAD METROLÓGICA Y SU RELACIÓN CON LOS RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA, presentado y aprobado en el año 2021 como requisito para optar al título de ESPECIALISTA EN ESTADÍSTICA;

Autorizamos al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

HUGO FERNANDO SANCHEZ CASALLAS

Firma: _____

LUIS CARLOS GUTIÉRREZ PEÑA:

Firma: _____



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: VERIFICACIÓN DE LA TRAZABILIDAD METROLÓGICA Y SU RELACIÓN CON LOS RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Sánchez Casallas	Hugo Fernando
Gutiérrez Peña	Luis Carlos

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bernal Castro	Edgar Andrés

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Especialista en Estadística

FACULTAD: Ciencias Exactas y Naturales

PROGRAMA O POSGRADO: Especialización en Estadística

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2021

NÚMERO DE PÁGINAS: 110

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
o Cuadros_ X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: ninguno.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



MATERIAL ANEXO: ninguno.

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*): ninguna.

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Trazabilidad</u>	<u>Traceability</u>	6. <u>Estandarización</u>	<u>Standardization</u>
2. <u>Validez</u>	<u>Validity</u>	7. <u>Metrología</u>	<u>Metrology</u>
3. <u>Medición</u>	<u>Measurement</u>		
4. <u>Resultado</u>	<u>Result</u>		
5. <u>Calibración</u>	<u>Calibration</u>		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El conocimiento que nace de trabajos de investigación en sus diferentes escalas necesita ser hablado en el mismo idioma, tanto del investigador como del consumidor de la información; por esta razón, varios países han suscrito la "Convención del Metro" en donde aceptan y comparten el uso de patrones Internacionales para un Sistema Internacional de Unidades-SI, definido en 1875 en París y en las subsiguientes reuniones de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas – BIPM.

De acuerdo con lo anterior, se busca identificar la conservación de la trazabilidad metrológica de las mediciones reportadas en los trabajos de grado realizados por estudiantes de programas académicos afines a las ciencias e ingenierías de pregrado y posgrado de la Universidad Surcolombiana – USCO en el periodo comprendido entre 2015 a 2019, específicamente los siguientes programas: Ingeniería: Agrícola, Petróleos, Electrónica; Maestría: En Ingeniería y Gestión Ambiental.

Se realizó el análisis de una muestra de trabajos de grado de esos programas académicos y como resultado de la investigación se describe: a. si los estudiantes utilizaron equipos con características metrológicas apropiadas (calibrados) para efectuar sus mediciones, b. si se conservó la trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades, c. si se tuvo en cuenta el componente metrológico para el aseguramiento de la validez de sus resultados y d. si la incertidumbre de la medición tuvo influencia en las opiniones e interpretaciones presentadas en las conclusiones de cada documento.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The knowledge that is born from research works in its different scales, needs to be spoken in the same language, both by the researcher and the consumer of the information; for this reason, several countries have subscribed to the "Convention of the Meter" where they accept and share the use of International standards for an International System of Units - SI, defined in 1875 in Paris and in the subsequent meetings of the International Bureau of Weights and Measures - BIPM.

In accordance with the above, we seek to identify the conservation of the metrological traceability of measurements reported in the degree works carried out by students of academic programs related to undergraduate and graduate sciences and engineering of the Universidad Surcolombiana - USCO in the period from 2015 to 2019, specifically the following programs: Engineering: Agricultural, Petroleum, Electronics; Master: In Engineering and Environmental Management.

The analysis of a sample of degree works of these academic programs was carried out and as a result of the research, the following is described: a. if the students used equipment with appropriate metrological characteristics (calibrated) to perform their measurements, b. if the metrological traceability to the International System of Units was preserved, c. if the metrological component was taken into account to ensure the validity of their results and d. if the measurement uncertainty had influence in the opinions and interpretations presented in the conclusions of each document.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: AUGUSTO FERNANDO MEDINA RIVAS

Firma:

Nombre Jurado: JHON JAIRO CABRERA CARRASCO

Firma:



Verificación de la trazabilidad metrológica y su relación con los resultados de los trabajos de grado de la Universidad Surcolombiana

**Hugo Fernando Sánchez Casallas
Luis Carlos Gutiérrez Peña**

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Neiva, Colombia
2021

Verificación de la trazabilidad metrológica y su relación con los resultados de los trabajos de grado de la Universidad Surcolombiana

**Hugo Fernando Sánchez Casallas
Luis Carlos Gutiérrez Peña**

Trabajo de investigación (grado) presentado como requisito parcial para optar al título de:
Especialista en Estadística

Director:
MSc. Edgar Andrés Bernal Castro

Línea de Investigación:
Estadística Descriptiva

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Neiva, Colombia
2021

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA

CARTA DE ACEPTACIÓN

En calidad de Coordinador del Posgrado Especialización en Estadística, programa reconocido por el Ministerio de Educación Nacional mediante Resolución de Registro Calificado No. 3683 del 2 de marzo de 2018 y adscrito a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Surcolombiana, me permito informar que el trabajo de investigación titulado: **“VERIFICACIÓN DE LA TRAZABILIDAD METROLÓGICA Y SU RELACIÓN CON LOS RESULTADOS DE LOS TRABAJOS DE GRADO DE LA UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA”** presentado por los estudiantes Hugo Fernando Sánchez Casalla y Luis Carlos Gutiérrez Peña; es **ACEPTADO** como trabajo de grado para optar el título de Especialista en Estadística.

Para constancia se firma en la Ciudad de Neiva, a los doce (12) días del mes de julio del año 2021.



JAIME POLANÍA PERDOMO
Coordinador

Dedicatoria Hugo Fernando:

A mis padres.

Dedicatoria Luis Carlos:

A mis padres, hermanos, amigos y a C.C.T.H.

Declaración de obra original

Declaramos lo siguiente:

He leído el Acuerdo 014 de 2018 del Consejo Superior de la Universidad Surcolombiana.

«Estatuto de propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa nuestro trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, hemos realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

Hemos obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, hemos sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Hugo Fernando Sánchez Casallas

Luis Carlos Gutiérrez Peña

2021-06-09

Agradecimientos

Luis Carlos:

Agradezco a Dios y a la Virgen de Aránzazu por siempre iluminar mi camino en cualquier situación.

A mi mamá Sandra Peña Silva y a mi papá Luis Carlos Gutiérrez por darme ánimos para lograr superarme día a día.

Al señor Robinson de la Biblioteca Central de la USCO por facilitarnos los trabajos de grado objeto de estudio con amabilidad y diligencia.

A mi compañero y amigo, Ingeniero Hugo Fernando Sánchez Casallas, por siempre dar lo mejor de sí para alcanzar los objetivos de este trabajo.

A los docentes de la especialización por enseñarme muchas cosas de la estadística y dejar semilla para seguir avanzando.

Al profesor Edgar Bernal por toda la asesoría y colaboración brindada en la elaboración de este trabajo.

A Cristian Camilo Tovar Herrán, quien me apoyó siempre para lograr avanzar, culminar la especialización y terminar este trabajo de grado.

Hugo Fernando:

A la vida por ser tremendamente bondadosa y generosa.

A mis padres, por estar siempre ahí, guiando con el ejemplo y sin descanso.

A Oscar Daniel por la paciencia, el amor y la motivación.

A mi gran compañero y excelente amigo, Ingeniero Luis Carlos Gutierrez Peña, por ser una persona transparente, sencilla y dedicada con nuestro objetivo en común.

A la coordinación de la especialización, por llenar las expectativas y superarlas clase tras clase.

Resumen

El conocimiento que nace de trabajos de investigación en sus diferentes escalas necesita ser hablado en el mismo idioma, tanto del investigador como del consumidor de la información; por esta razón, varios países han suscrito la "Convención del Metro" en donde aceptan y comparten el uso de patrones Internacionales para un Sistema Internacional de Unidades-SI, definido en 1875 en París y en las subsiguientes reuniones de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas – BIPM.

De acuerdo con lo anterior, se busca identificar la conservación de la trazabilidad metrológica de las mediciones reportadas en los trabajos de grado realizados por estudiantes de programas académicos afines a las ciencias e ingenierías de pregrado y posgrado de la Universidad Surcolombiana – USCO en el periodo comprendido entre 2015 a 2019, específicamente los siguientes programas: Ingeniería: Agrícola, Petróleos, Electrónica; Maestría: En Ingeniería y Gestión Ambiental.

Se realizó el análisis de una muestra de trabajos de grado de esos programas académicos y como resultado de la investigación se describe: a. si los estudiantes utilizaron equipos con características metrológicas apropiadas (calibrados) para efectuar sus mediciones, b. si se conservó la trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades, c. si se tuvo en cuenta el componente metrológico para el aseguramiento de la validez de sus resultados y d. si la

incertidumbre de la medición tuvo influencia en las opiniones e interpretaciones presentadas en las conclusiones de cada documento.

Palabras clave: trazabilidad, validez, medición, resultado, calibración, estandarización, metrología.

Abstract

Identification of the metrological traceability and its relationship with the results of the thesis of the Universidad Surcolombiana.

The knowledge that is born from research works in its different scales, needs to be spoken in the same language, both by the researcher and the consumer of the information; for this reason, several countries have subscribed to the "Convention of the Meter" where they accept and share the use of International standards for an International System of Units - SI, defined in 1875 in Paris and in the subsequent meetings of the International Bureau of Weights and Measures - BIPM.

In accordance with the above, we seek to identify the conservation of the metrological traceability of measurements reported in the degree works carried out by students of academic programs related to undergraduate and graduate sciences and engineering of the Universidad Surcolombiana - USCO in the period from 2015 to 2019, specifically the following programs: Engineering: Agricultural, Petroleum, Electronics; Master: In Engineering and Environmental Management.

The analysis of a sample of degree works of these academic programs was carried out and as a result of the research, the following is described: a. if the students used equipment with appropriate metrological characteristics (calibrated) to perform their measurements, b. if the metrological traceability to the International System of Units was preserved, c. if the metrological component was taken into account to ensure the validity of their results and d. if the

measurement uncertainty had influence in the opinions and interpretations presented in the conclusions of each document.

Key words: traceability, validity, measurement, result, calibration, standardization, metrology.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	XI
Lista de gráficas	XVII
Lista de tablas.....	XIX
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XX
1. Planteamiento del Problema.....	3
1.1 Pregunta de Investigación	5
1.2 Justificación.....	5
2. Antecedentes y Marco Teórico	9
2.1 Antecedentes	9
2.2 Marco Teórico	13
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo General	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. Hipótesis y variables.....	21
4.1 Hipótesis.....	21
4.2 Variables.....	21
5. Definición de términos centrales	25
6. Alcances y limitaciones.....	29
7. Diseño Metodológico.....	32
7.1 Enfoque de investigación	33
7.2 Población de estudio.....	33
7.3 Muestra y prueba piloto.....	34
7.4 Instrumento y materiales	35
7.5 Proceso de Recolección de los datos.....	35
8. Resultados.....	36
8.1 Volumen de trabajos de grado generados entre 2015 y 2019.	36

8.2	Procedencia de los equipos de medición de trabajos de grado objeto de estudio, el reporte de su estado de calibración, el reporte de uso de métodos reconocidos, el reporte de los responsables de la ejecución de la medición y el reporte de uso de medidas repetidas.....	38
8.2.1	Estado de calibración de equipos de medición, el uso de métodos reconocidos, el reporte de responsable de ejecución de la medición y repetición en las medidas, para resultados emitidos con instrumentos de la USCO	41
8.2.2	Resultados emitidos con instrumentos de otras instituciones.....	47
8.3	Sobre el uso y reporte de la incertidumbre de la medición en los resultados reportados.....	55
8.3.1	Uso y reporte de la incertidumbre en datos generados con equipos pertenecientes a la Universidad Surcolombiana.	55
8.3.2	Uso y reporte de la incertidumbre en datos generados con equipos pertenecientes a otras instituciones	57
8.4	Estrategias aplicables a las mediciones en trabajos de grado de la USCO para conservación de la trazabilidad metrológica y la validez de los resultados.	58
8.4.1	Herramienta para inventario de instrumentos, equipos y patrones.....	58
8.4.2	Inclusión en el documento de trabajo de grado de un anexo llamado: Instrumentos, equipos y trazabilidad metrológica.....	59
8.4.3	Priorización del uso de métodos de medición normalizados:.....	61
8.4.4	Aplicación de actividades de aseguramiento de la validez de los resultados de medición.	62
9.	Discusión de resultados	65
10.	Conclusiones y recomendaciones	73
10.1	Conclusiones	73
10.2	Recomendaciones.....	74
A.	Anexo: Herramienta para la toma de datos (Encuesta).....	77
B.	Anexo: Listado de trabajos de grado muestreados	79
	Bibliografía	87

Lista de gráficas

	Pág.
Gráfica 1. Porcentaje de ocupación según perfil del personal. Fuente: (Nieto & Suarez, 2011)	12
Gráfica 2. Distribución de generación de trabajos de grado por año	36
Gráfica 3. Porcentaje de trabajos de grado de pregrado y posgrado por año entre 2015 y 2019	37
Gráfica 4. Trabajos de grado por cada programa en cada año.	37
Gráfica 5. Porcentaje de trabajos de grado con mediciones internas o externas o Internas y Externas por año.	38
Gráfica 6. Porcentaje de trabajos de grado con mediciones ejecutadas exclusivamente con equipos de la USCO entre 2015 y 2019.....	39
Gráfica 7. Porcentaje de trabajos de grado que realizaron mediciones con equipos externos a la USCO, por año.....	39
Gráfica 8. Porcentaje de trabajos de grado con mediciones realizadas en laboratorios con alcances acreditados, por año.	40
Gráfica 9. Mediciones externas de trabajos de grado realizadas en laboratorios con alcances acreditados - comparativo entre pregrado y posgrado, periodo 2015-2019	40
Gráfica 10. Porcentaje de equipos calibrados en cada trabajo de grado, por año.....	42
Gráfica 11. Reporte de uso de equipos calibrados en trabajos de grado de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 - 2019.....	43
Gráfica 12. Porcentaje de métodos de medición normalizados y/o reconocidos en trabajos de grado de programas académicos estudiados, periodo 2015 – 2019	44
Gráfica 13. Uso de métodos de medición normalizados o reconocidos en TG de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 -2019.....	44
Gráfica 14. Porcentaje de mediciones que utilizaron patrón de referencia o MRC en cada trabajo de grado, por año	45
Gráfica 15. Porcentaje de mediciones en las que se identifica quién las realizó en cada trabajo de grado, por año.....	46
Gráfica 16. Porcentaje de mediciones con réplicas en cada trabajo de grado, por año.	46
Gráfica 17. Mediciones con réplicas en trabajos de grado de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 - 2019.....	47
Gráfica 18. Porcentaje de equipos calibrados en cada TG con ME, por año.....	48
Gráfica 19. Porcentaje de equipos calibrados reportados en TG de pregrado y posgrado con ME, periodo 2015 – 2019	48
Gráfica 20. Porcentajes de Trabajos de Grado con Mediciones Externas que utilizaron patrones de referencia o MRC, por año.....	49
Gráfica 21. Porcentajes de TG de pregrado y posgrado con ME que usaron patrones o MRC, periodo 2015 – 2019	50

Gráfica 22. Porcentaje de métodos de medición normalizados o reconocidos declarados en cada TG con ME, por año.....	50
Gráfica 23. Porcentajes de TG con mediciones externas que declaran trazabilidad metrológica, por año	51
Gráfica 24. Porcentajes de TG de pregrado y posgrado con ME que declaran trazabilidad metrológica, periodo 2015 - 2019.....	52
Gráfica 25. Porcentajes de TG con ME en los que se identifica quiénes realizaron las mediciones, por año	53
Gráfica 26. Porcentajes de TG de pregrado y posgrado con ME en los que se identifica quién realizó en cada uno de ellos las mediciones, periodo 2015 - 2019.....	53
Gráfica 27. Porcentajes de TG con ME que realizaron réplicas de mediciones, por año	54
Gráfica 28. Porcentaje de réplicas de mediciones en trabajos de grado de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 - 2019.....	55
Gráfica 29. Mediciones realizadas al interior de la USCO, con incertidumbre en los trabajos de grado de programas académicos estudiados, periodo 2015 – 2019.....	56
Gráfica 30. Porcentajes de TG con ME en los que se tienen en cuenta la incertidumbre en las mediciones, por año.....	57

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Valores asignables a cada variable analizada para las mediciones realizadas al exterior de la universidad y los niveles definidos para cada una	22
Tabla 2. Valores asignables a cada variable analizada para las mediciones realizadas al exterior de la universidad y los niveles definidos para cada una	22
Tabla 3. Intervalos de resultados y colores asignados para el análisis de las gráficas de barras.....	42
Tabla 4. Propuesta de lista de equipos y patrones para mediciones.	58

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
--------------------	----------------

<i>ILAC</i>	Cooperación Internacional para la Acreditación de laboratorios
<i>ME</i>	Mediciones Externas
<i>MI</i>	Mediciones Internas
<i>ONAC</i>	Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
<i>TG</i>	Trabajo de Grado
<i>USCO</i>	Universidad Surcolombiana

El presente documento pretende identificar las herramientas utilizadas para mantener la trazabilidad metrológica en los trabajos de grado de los programas académicos de Ingeniería Agrícola, Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Petróleos y Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental que fueron elaborados en las vigencias 2015 a 2019. La importancia de este trabajo radica en la necesidad de identificar el grado de calidad y validez técnica de las mediciones que se realizan en el ámbito académico afín a los programas de formación relacionados con la ingeniería dentro de la Universidad Surcolombiana, puesto que con frecuencia se evidencia (Baker et al., 2015) que el componente metrológico que debería ser inherente a una determinada medición, no cuenta con la relevancia necesaria, afectando la validez y reproducibilidad de los resultados obtenidos en las investigaciones que en dichos trabajos se obtienen, reduciendo su impacto en el entorno académico, social y económico de la investigación. En vista de lo anterior, esta investigación gira en torno al logro de los siguientes objetivos: Identificar el reporte de estado de calibración de los equipos de medición en los trabajos de grado objeto de estudio, si pertenecen a la Universidad Surcolombiana o a entidades externas y el uso de métodos de medición reconocidos. Identificar el uso de la incertidumbre de la medición en los resultados reportados en los trabajos de grado. Proponer estrategias aplicables durante las diferentes etapas del desarrollo de las mediciones en trabajos de grado de la USCO que permitan conservar la trazabilidad metrológica y la validez de los resultados. Se realizó el análisis de una muestra de trabajos de grado de esos programas académicos y como resultado de la investigación se describe la procedencia de los equipos, instrumentos y patrones reportados por los investigadores en cada trabajo de grado; se obtuvo una baja cantidad de evidencias que soporten la trazabilidad metrológica de los resultados publicados, al igual que poca información relacionada con el

aseguramiento de la validez de las mediciones. Los resultados fueron levemente mejores en las investigaciones de posgrado. Inicialmente, se había contemplado abarcar también los programas académicos de Física y Maestría en Ingeniería de Petróleos, sin embargo, durante la selección de la población de estudio se evidenció que no existían trabajos de grado que cumplieran con los parámetros establecidos para su revisión. Finalmente, se proponen algunas alternativas que pueden ser implementadas en la Universidad Surcolombiana desde el punto de vista académico, administrativo y financiero, al igual algunas prácticas que le competen directamente al investigador; la implementación de estas alternativas puede implicar replantear algunos documentos para la emisión de trabajos de grado.

1. Planteamiento del Problema

De acuerdo con documentos del estado colombiano (Conpes 3957, 2019) varias son las insuficiencias, fallas y deficiencias que presenta el país para poder cumplir con estándares técnicos exigidos por diferentes mercados en los que nuestra economía podría obtener interesantes resultados. El diagnóstico presenta entre las debilidades encontradas en capacidades técnicas, algunas falencias relacionadas con las capacidades y conocimiento técnico del capital humano de los laboratorios; en éste trabajo, se analiza si entre los parámetros abordados por los documentos de trabajo de grado, hay evidencias del manejo de técnicas que aseguren la trazabilidad metrológica de los resultados y su validez, toda vez que la correcta manipulación y aprovechamiento de ellas, permite identificar capacidades técnicas de los nuevos profesionales de la Universidad Surcolombiana en relación con la metrología y el impacto de esta sobre las decisiones que se tomen a partir de resultados obtenidos en sus investigaciones.

Las razones por la cuales un profesional debe contar con conocimientos en temas metrológicos, sin importar su campo de acción, pueden ser abordadas desde cuatro componentes: un componente educativo, uno de disponibilidad de información y recursos técnicos requeridos, un componente social y el componente económico. Desde el componente educativo, no es sencillo hallar evidencia concreta de la inexistencia de materias o asignaturas que aborden las temáticas (Universidad Surcolombiana, 2017a, 2017c, 2017b, 2017d), sin embargo, la apropiación y uso de conocimiento asociado al uso de herramientas para la conservación de la

trazabilidad metrológica y la validez de los resultados de las mediciones no se ve reflejado en los textos de los trabajos de grado. De acuerdo con Llamosa (2011) se han identificado falencias importantes respecto a la apropiación educativa en temas metrológicos en el país, por lo que proponen promover la metrología como tema transversal en la formación en ciencias básicas.

A nivel de disponibilidad de información y de instrumentos de medición internos y externos utilizados en los trabajos de grado, necesarios para una correcta ejecución de una medición y la apropiación del conocimiento, no puede dejarse de lado la importancia de contar con un buen soporte financiero para contar con espacios propicios para las buenas prácticas metrológicas y académicas. En Medellín, la universidad EAFIT amplió en 2002 las capacidades y espacio físico de su laboratorio de metrología para el apoyo a la docencia en las áreas de Taller Industrial, Procesos de Manufactura, Dibujo Técnico y Sistemas de Producción de los Departamentos de Ingeniería de Producción y Mecánica, y acompaña las tareas de investigación, proyectos de grado y trabajos de clase generadas desde los departamentos académicos (EAFIT, 2010).

Bajo el componente social, las soluciones que se generen en el desarrollo de los trabajos de grado no se van a poder reproducir y transferir a las partes interesadas, toda vez que la validez de las mediciones no puede soportarse, lo cual se ve reflejado en investigaciones reportadas en *Nature*, en donde se afirma que más del 70% de los investigadores han fallado en el intento de reproducir experimentos de otros investigadores y más de la mitad han fallado al intentar reproducir los propios (Baker & Penny, 2016) , teniendo como razón, entre otros, inconvenientes con la definición de los procesos de medición de las magnitudes que intervienen en los procesos.

A la luz del componente económico, puede abordarse en un posible desaprovechamiento de recursos, puesto que los resultados generados a través de los trabajos de grado que no cuenten

con una correcta selección de instrumentos de medición y de manejo metrológico de los resultados, una vez se lleve a procesos productivos, no resultan útiles para los fines previstos;

Palacios y colaboradores hacen hincapié en cómo:

Para la industria mundial, el aseguramiento metrológico ha trascendido de cumplir con exigencias sobre los equipos de medida, hacia una gestión de las medidas con enfoque sistémico, buscando integrar los elementos que conforman el proceso de medición y asegurando que este sea adecuado para su uso previsto, impactando directamente en las economías de los sectores productivos. (Palacios et al., 2016 p. 01),

Pero sin profesionales y centros académicos que incluyan la rigurosidad del proceso de medición en su día a día, no será posible que, al hablar de industria mundial, también podamos pensar en la nuestra y de paso, tampoco veremos reflejados los impactos positivos relacionados con estas prácticas.

1.1 Pregunta de Investigación

¿En los trabajos de grado de la Universidad Surcolombiana, qué elementos de trazabilidad metrológica son reportados y relacionados con los resultados obtenidos?

1.2 Justificación

La metrología es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones (Centro Español de Metrología, 2012). Esta pretende estudiar las formas en las cuales el ser humano puede obtener nuevas formas de medir los fenómenos de la naturaleza, así como lograr que las mediciones

existentes sean cada vez más exactas y confiables, en pro de asegurar que cualquiera que sea la actividad desarrollada por las personas se haga de manera apropiada, minimizando errores y mejorando por ende la calidad de vida.

Por otra parte, la trazabilidad metrológica se define como la “propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida” (Centro Español de Metrología, 2012, p 38). Para lograrla, se requiere de una jerarquía de calibración establecida, así como de una serie de actividades que deberían ser rutinarias, naturales, del día a día, para el investigador o quien ejecute una medición. De acuerdo con lo establecido en la Ley 1512 de 2012 en la que se aprueba la “convención del metro”, el país acepta los patrones custodiados por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas -*Bureau International des Poids et Mesures, BIPM*-, científica y permanente, cuya sede se sitúa en París; ésta oficina, funciona bajo la dirección y vigilancia exclusivas de un Comité Internacional de Pesas y Medidas, puesto bajo la autoridad de una Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), formada por los delegados de los Gobiernos contratantes (incluyendo a Colombia).

Como producto de los procesos formativos en las universidades, existen los denominados trabajos de grado, los cuales abordan problemáticas afines a las carreras estudiadas (Universidad Surcolombiana, 2019); en muchos casos, se propende por un desarrollo experimental que conlleva a realizar mediciones de fenómenos de tal forma que permitan estudiar su comportamiento y, en últimas, lograr su comprensión. Para lograr dichas mediciones, los autores requieren el uso de equipos que permitan, ya sea de forma directa o indirecta, obtener el valor de las magnitudes estudiadas bajo condiciones controladas (Arbelaez et al., 2008); sin embargo, no basta con solo medir y registrar el resultado obtenido. Se requiere garantizar que la medición

efectuada sea técnicamente válida, y esto se logra tanto con el aseguramiento metrológico de dichos equipos, actividad que consiste en efectuar mantenimiento (preventivo / correctivo / predictivo), calibración y verificación regular de su funcionamiento desde el punto de vista funcional y metrológico (Ospina Gutiérrez et al., 2008), así como con la realización de actividades de aseguramiento de la validez de los resultados. (Oramas, 2018)

Llevadas a cabo las anteriores actividades, los resultados experimentales obtenidos por cualquier investigador serán altamente reproducibles en otras partes (Baker et al., 2015), ya sea para fines de verificación o con fines aplicativos, lo cual indiscutiblemente incrementa la robustez, solidez y credibilidad de la investigación.

Para mantener la trazabilidad metrológica de las mediciones y la validez de los resultados (ILAC, 2020), el investigador requiere asegurar la existencia de los siguientes factores:

1. Instrumentos de medición en condiciones operativas correctas (mantenimientos).
2. Una cadena no interrumpida de calibraciones, igualmente trazables al SI. (Calibración).
3. Utilizar procedimientos de medición debidamente validados y/o verificados.
4. Estimar la incertidumbre de la medición.
5. Documentar cada paso de la cadena, afuera y adentro de su lugar de medición.
6. Contar con competencia técnica para la ejecución del método de medición aplicado.
7. Efectuar actividades de aseguramiento de la validez de los resultados.

Al perder alguno de éstos factores o restarles relevancia, una medición puede generar inconveniente de varios índoles: índole técnico: al no ser útil, no ser repetible/reproducibile o no

poder ser comparado con otros métodos similares; de índole comercial: porque si los resultados son utilizados para transacciones de éste tipo, se pueden encontrar barreras arancelarias que dificulten los procesos de exportación (Conpes 3957, 2019), igualmente se corre el riesgo de perder la confianza en los resultados de determinado equipo investigador y de la imagen de los claustros universitarios; y de índole legal, puesto que contar con resultados de investigación a los que no se les pueda demostrar su validez y trazabilidad, impide que sean objeto de registros de propiedad intelectual y de los subsiguientes beneficios que esto contrae para un investigador (ICONTEC, 2017; Ignacio & Cervantes, 2000).

La inexistencia de una adecuada trazabilidad metrológica en los trabajos de grado realizados por estudiantes de la Universidad Surcolombiana conllevaría a que las mediciones realizadas no fuesen comparables ni reproducibles en caso de que algún investigador quisiera llevar a cabo los experimentos desarrollados en él, lo cual conllevaría a la pérdida de la credibilidad, afectando así la imagen tanto del autor del trabajo como de la Universidad.

2. Antecedentes y Marco Teórico

Con relación a los antecedentes y el marco teórico, se abordarán los aspectos atinentes a la metrología y su relevancia internacional y a las acciones encaminadas a fortalecerlas en el país.

2.1 Antecedentes

La metrología es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones (Centro Español de Metrología, 2012), su historia se remonta a 5.000 años antes de Cristo, cuando se empezaron a utilizar unidades de medida y el hombre eligió su propio cuerpo como base para las primeras unidades de medida (Centro Español de Metrología, 2019). La pulgada, el palmo, la braza, el codo, el pie, serían las primeras unidades de medida de longitud, se acepta que en 2500 años antes de Cristo se daría origen al primer patrón sin fundamento corporal que reposa en las rodillas de dos estatuas del Rey-Dios Gudea, la cual constituía el patrón legal de la unidad de Lagash (Azarpay, 1990), sin embargo, el uso no se centró sencillamente con indicar cantidades, también ha demostrado una calidad asombrosa, es el caso de la longitud de los lados de la gran pirámide de Gizah, en Egipto, si lo comparamos con instrumentos de medición como la rueda de medición, encontraríamos que lo logrado por los constructores tiene una espectacular precisión de 0,1% (Hebra, 2010).

Rainer sugiere que “la medición es uno de los fundamentos de nuestra civilización actual. Es una condición previa indispensable para el comercio, la técnica y las ciencias, quienes exigen métodos de medición cada vez más precisos y confiables. Al medir se compara el estado

existente de una magnitud a medir con un estado de referencia, dado por un método primario o un “patrón” como el “patrón primario del kilogramo”” (2016, p. 7). La importancia de las mediciones es tanta que dicha actividad se concibe como una ciencia *per se*.

Según el Comité de Metrología del Instituto de la Ingeniería de España (2019), “la «Metrología» (del griego: Μέτρον, medida y λογία, tratado) está definida como la «ciencia que se ocupa de las mediciones»” (p.15), la cual está presente en todos los aspectos de la sociedad y juega un papel fundamental en campos tales como la investigación y el desarrollo, la fabricación industrial, la medicina, las telecomunicaciones, el comercio, etc. Desde los albores de la civilización, las medidas han definido la sociedad, el gobierno y el progreso de los pueblos.

La Metrología es probablemente la ciencia más antigua del mundo (> 5000 años) y, sin embargo, aún hoy en día, pocas personas conocen la relevancia de esta ciencia y su incidencia en la economía y la sociedad.

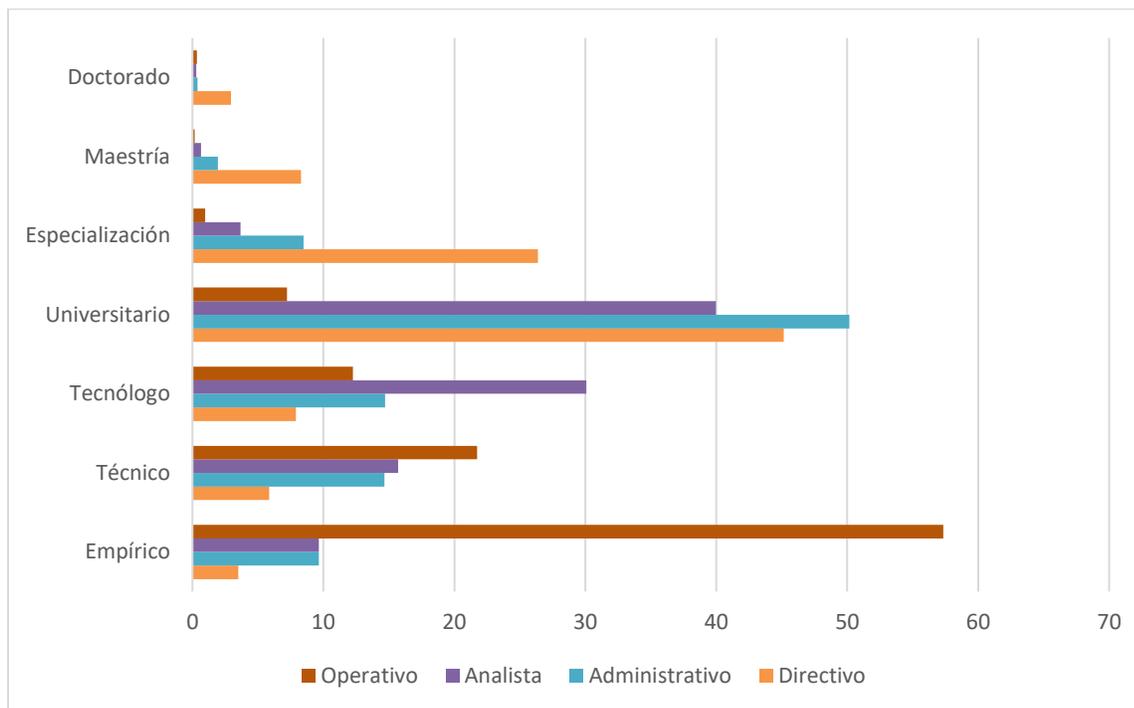
En nuestro país, el estandarte de la aplicación de la metrología proviene de los laboratorios que, al acreditarse, ostentan competencia técnica para ejecutar las actividades, de acuerdo con requisitos establecidos en normas internacionales, con el fin de asegurar la confianza en los resultados (ONAC, 2021a).

Al revisar las cifras relacionadas con la cantidad de universidades que cuentan con laboratorios de ensayo o calibración con alcances acreditados ante el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC, permite dar cuenta de la baja inmersión de las universidades colombianas en temas de aseguramiento metrológico. Una muestra de ello es que, a la fecha, se registran 53 laboratorios con algún proceso de acreditación pertenecientes a 14 universidades, de los cuales quedan sólo 48 laboratorios activos y perteneciendo el 27% a una sola universidad (ONAC, 2021b).

La importancia de la metrología como un tema transversal, a fin en los procesos educativos de la ciencia y su interacción con los procesos productivos, ha llevado a que el estado y algunos grupos de investigación dediquen espacios para analizar la situación específica de algunas universidades y laboratorios en nuestro país, no sólo desde el aspecto técnico (equipos e infraestructura) sino también del componente humano (Conpes 3957, 2019).

En el marco del proyecto de Asistencia Técnica al Comercio en Colombia, se aplicó entre 2009 y 2012 una encuesta a 350 laboratorios públicos, privados y de la academia, pertenecientes a los sectores agropecuario, alimentos, ambiente, investigación, medicamentos, metrología física y química, minero energético y salud con el fin de conocer la capacidad técnica de las mediciones de los laboratorios colombianos, y clasificarlos según su nivel de cumplimiento de requisitos metrológicos y de calidad para su funcionamiento (Vera et al., 2012). Para esto, los investigadores definieron las siguientes categorías: (i) clasificación D, indica un cumplimiento entre 70 % y 100 % de los requisitos, en la cual sólo un 3.43% hicieron parte. El resultado de estos estudios demuestra que existen debilidades en las capacidades técnicas de los laboratorios y falencias relacionadas con el capital humano de los laboratorios (públicos y privados), resultado crucial, toda vez que el capital humano es factor central para la productividad (Serrano Martínez, 1995).

De acuerdo con los resultados de la Encuesta de Demanda Metrológica de la Industria Colombiana – ENDMIC, en los niveles analista y administrativo, el personal empírico de los laboratorios supera el personal con algún postgrado (i.e. especialización, maestría o doctorado), **Gráfica 1** Incluso en el nivel directivo, el personal empírico supera el personal con doctorado. (Nieto & Suarez, 2011).

Gráfica 1. Porcentaje de ocupación según perfil del personal. Fuente: (Nieto & Suarez, 2011)

En búsqueda de crear escenarios académicos que permitan al país contar con espacios físicos y adecuados para el desarrollo, la apropiación y correcta aplicación de los conceptos metrológicos en el aseguramiento de la validez de los resultados y su posterior inclusión a la sociedad, diversas instituciones han implementado laboratorios de metrología para diversas áreas de las ciencia, la ingeniería y la salud (EAFIT, 2010; Institución Universitaria Pascual Bravo, 2019; Univalle, 2010c, 2010b, 2010a); algunas otras, han generado redes entre su infraestructura para educación, los laboratorios acreditados que prestan servicios de ensayo y calibración y los profesionales dedicados a la investigación en temas metrológicos (Llamosa et al., 2008).

Investigadores de la Universidad Nacional de Colombia (Culma Caviedes, 2019; Orrego García, 2013) han desarrollado propuestas para la enseñanza del proceso de medida en la física en educación secundaria. Igualmente, han llevado a cabo análisis de la articulación de los diseños curriculares de programas de ingeniería en relación con los objetivos de aprendizaje asociados a

metrología, revisando particularmente la presencia del concepto de metrología dentro de las asignaturas obligatorias de los planes de estudio, evidenciando una preocupante relativa falta de cooperación entre los sectores importantes para la metrología, situación que no deben ignorar las instituciones universitarias, dado su papel como ente formador.

El Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, cuenta con varios laboratorios a lo largo del departamento del Huila, con alcances implementados y bajo evaluación de ONAC, para optar por su reconocimiento como Organismos Evaluadores de la Conformidad, en alcances relacionados con ensayos en suelos, café, calibración de instrumentos de medición de condiciones ambientales y otros; en la ciudad de Neiva, cuenta desde 2020 con dos laboratorios con alcance acreditado, para la prestación de servicios de ensayo y calibración (ONAC, 2021b).

Respecto de la Universidad Surcolombiana, al momento de la edición de este texto, no se encontró evidencia de laboratorios o grupos de investigación orientados al estudio o aplicación de la metrología, y los pensum de los programas académicos objetos del presente estudio, tampoco presentan asignaturas que directamente aborden la materia (Universidad Surcolombiana, 2017a, 2017b, 2017d, 2018).

2.2 Marco Teórico

De la metrología se derivan los sistemas de medición. En la actualidad, en el mundo existe el Sistema Internacional de Unidades, el cual se estableció en el período entre 1948 y 1960, siendo bautizado en 1960 como *Systeme international d'unités*, abreviado SI. Desarrollado

e implementado por los órganos de la Convención del Metro, el sistema SI se basa en el sistema métrico.

La idea básica es que todas las unidades del sistema SI se obtengan por multiplicación o división de unas pocas unidades básicas (primero eran seis, hoy siete). Las siete unidades básicas son: el segundo (s), el metro (m), el kilogramo (kg), el ampere (A) el kelvin (K), la candela (cd) y el mol (mol). Cada una de las unidades básicas aporta al sistema de unidades una “dimensión”, o sea otro campo físico/técnico de medición (Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB, 2018)(Middelmann, 2016).

Si bien la mayor parte de las mediciones que se hacen actualmente en el mundo se llevan a cabo con unidades básicas o derivadas del SI, su relevancia y exactitud dependen netamente de su trazabilidad metrológica, la cual, de acuerdo con la Entidad Nacional de Acreditación - ENAC y el Centro Español de Metrología – CEM (ENAC, 2015a), constituye un elemento clave para garantizar la correcta diseminación de las diferentes unidades de medida desde los patrones nacionales o internacionales o, en general, de referencia, hasta los patrones e instrumentos de medición de la industria.

La trazabilidad metrológica consiste en una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones hasta una referencia (patrón de medida, realización práctica de la definición de una unidad de medida o un procedimiento de medida) mediante procedimientos de medición (documentados), que permiten relacionar los resultados de medida, en general a las unidades del Sistema Internacional (SI). La trazabilidad metrológica garantiza que los resultados de medida sean comparables entre sí, independientemente del lugar y tiempo en que se hayan realizado facilitando el que puedan ser universalmente aceptados (Centro Español de Metrología, 2012).

Para lograr la trazabilidad metrológica, los usuarios de los equipos de medición contratan, por lo general, a laboratorios de calibración (excepto en los casos en que ellos mismos cuenten con el equipamiento, infraestructura y competencia técnica para hacer sus propias calibraciones), quienes deben garantizar que los resultados de medida de sus servicios sean trazables metrológicamente y para ello es condición indispensable que estos sean técnicamente competentes (International Laboratory Accreditation Cooperation, 2020).

Esta trazabilidad algunas veces se ve cuestionada por los clientes o por terceras partes debido a la falta de entendimiento del concepto o a la dificultad de demostrar su competencia técnica. Este hecho suele conllevar exigencias documentales y evidencias, en ocasiones difíciles de satisfacer. Así, la complejidad para demostrar la trazabilidad de los resultados de medida puede llegar a convertirse en un obstáculo para la actividad del laboratorio de calibración (ENAC, 2015b) y en últimas para aquellos usuarios finales de los equipos de medición.

El entorno en el que se encuentran los centros académicos marca (Peter Swann et al., 2009) las necesidades sobre las que los investigadores trabajan, por tanto, el carácter social de la investigación debe ser siempre tenido en cuenta. De acuerdo con Birch (Birch, 2003) existen importantes estudios que determinan la utilidad social para un país cuando las actividades científicas se llevan a cabo con trazabilidad metrológica al interior de un Sistema Nacional de Calidad al que pertenezcan los centros académicos.

En el caso de entidades que funcionen con recursos públicos, para Swann las asimetrías de información son otra razón para la utilización de dineros públicos en las actividades de medición.

Gilda Macedo de la revista Ciencia y Cultura, en su artículo “El proceso de medir en la ciencia” (2015) nos relata cómo “la medición resulta es un recurso cognitivo relevante para la ciencia que permite resaltar el proceso que fundamenta la construcción de teorías científicas” (p. 1). No obstante, a lo largo y ancho del país es recurrente ver cómo los centros académicos generan productos como artículos, tesis de grado, posters, entre otros, sin asegurar que se lleva a cabo de manera rigurosa el proceso de medición, no sólo visto desde el uso de un instrumento, sino incluyendo lo relacionado con la trazabilidad metrológica del resultado, la incertidumbre asociada a la medición y los posibles ajustes que se deban hacer a los valores reportados.

Dicha recurrencia, lleva al país a una situación en las que sus profesionales no estarán familiarizados con conceptos o prácticas que son cada vez más requeridas por los mercados internacionales y que pueden llevar a una empresa del potencial éxito a un fracaso absoluto. (Palacios Morales et al., 2016)

3. Objetivos

A continuación, el objetivo general y objetivos específicos abordados en esta investigación:

3.1 Objetivo General

Verificar los elementos de trazabilidad metrológica que son reportados y relacionados con los resultados obtenidos en los trabajos de grado de la Universidad Surcolombiana.

3.2 Objetivos Específicos

1. Hacer el análisis descriptivo del volumen de trabajos de grado para el período 2015 a 2019 que generó mediciones.
2. Identificar la procedencia de los equipos de medición de trabajos de grado objeto de estudio, el reporte de su estado de calibración, el reporte de uso de métodos reconocidos, el reporte de los responsables de la ejecución de la medición y el reporte de uso de medidas repetidas.
3. Identificar el uso de la incertidumbre de la medición en los resultados reportados en los trabajos de grado.

4. Proponer estrategias aplicables durante las diferentes etapas del desarrollo de las mediciones en trabajos de grado de la USCO que permitan conservar la trazabilidad metrológica y la validez de los resultados.

4. Hipótesis y variables

4.1 Hipótesis

En los trabajos de grado de la Universidad Surcolombiana, se reportan elementos necesarios para demostrar la trazabilidad metrológica de las mediciones y esta se relaciona con los resultados obtenidos.

4.2 Variables

Las variables estudiadas de acuerdo con la información reportada en los trabajos de grado disponibles en la biblioteca de la universidad son:

- a. Mediciones internas/ejecutadas con equipos de la Universidad.
- b. Métodos normalizados/reconocidos utilizados para las mediciones.
- c. Instrumentos de medición que cuentan con evidencia de calibración.
- d. Instrumentos de medición que cuentan con patrón o material de referencia certificado.
- e. Mediciones que evidencian tener en cuenta la trazabilidad metrológica.
- f. Resultados que cuentan con identificación de quién realiza la medición.
- g. Resultados que se emiten a partir de repeticiones de la medición.

h. Resultados que tienen en cuenta la incertidumbre de la medición.

i. *Mediciones externas/ejecutadas con equipos que no pertenecen a la universidad.

j. * Resultados emitidos por laboratorios acreditados.

Para los resultados de medición ejecutados con equipos que no pertenecen a la universidad, se evaluaron también las características b a h, de manera independiente.

Se utilizó la siguiente estandarización, desarrollada por los autores, para valorar el comportamiento de las variables en cada trabajo de grado:

Tabla 1. Valores asignables a cada variable analizada para las mediciones realizadas al interior de la universidad y los niveles definidos para cada una

Medición Interna	Indica un Método normalizado/ Reconocido	Equipo Calibrado	Cuenta con Patrón o MRC	Tiene en cuenta Trazabilidad metrológica	Cuenta con identificación de quién realiza la medición	Repeticiones de la medición	Tiene en cuenta U
Si	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%
No	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%
	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%
	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%
	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%

Fuente: Autores

Tabla 2. Valores asignables a cada variable analizada para las mediciones realizadas al exterior de la universidad y los niveles definidos para cada una.

Medición Externa	Lab Acreditado	Indica un Método normalizado/ Reconocido	Equipo Calibrado	Cuenta con Patrón o MRC	Tiene en cuenta Trazabilidad metrológica	Cuenta con identificación de quién realiza la medición	Repeticiones de la medición	Tiene en cuenta U
Si	Si	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%	1. 0 a 20%
No	No	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%	2. 21 a 40%
		3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%	3. 41 a 60%
		4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%	4. 61 a 80%
		5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%	5. 81 a 100%

Fuente: Autores

5. Definición de términos centrales

Acreditación (ILAC, 2021): evaluación independiente de los organismos de evaluación de la conformidad con respecto a normas reconocidas para llevar a cabo actividades específicas que garanticen su imparcialidad y competencia. Mediante la aplicación de normas nacionales e internacionales, las administraciones públicas, los compradores y los consumidores pueden confiar en los resultados de las calibraciones y los ensayos, los informes de inspección y las certificaciones proporcionadas.

Calibración (Centro Español de Metrología, 2012): operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación

Incertidumbre de medida, Incertidumbre (Centro Español de Metrología, 2012), parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.

Magnitud (Centro Español de Metrología, 2012): propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia.

Material de referencia (Centro Español de Metrología, 2012): material suficientemente homogéneo y estable con respecto a propiedades especificadas, establecido como apto para su uso previsto en una medición o en un examen de propiedades cualitativas.

Material de referencia certificado (MRC) (Centro Español de Metrología, 2012): **material de referencia** acompañado por la documentación emitida por un organismo autorizado, que proporciona uno o varios valores de propiedades especificadas, con incertidumbres y trazabilidades asociadas, empleando procedimientos válidos.

Ejemplo: Suero humano, con valores asignados a la concentración de colesterol y a la **incertidumbre de medida** asociada, indicados en un certificado, empleado como **calibrador** o como material para el control de la **veracidad** de la medida.

Medición (Centro Español de Metrología, 2012): proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios **valores** que pueden atribuirse razonablemente a una **magnitud**.

Mensurando (Centro Español de Metrología, 2012): Magnitud que se desea medir.

NOTA. La especificación de un mensurando requiere el conocimiento de la naturaleza de la magnitud y la descripción del estado del fenómeno, cuerpo o sustancia cuya magnitud es una propiedad, incluyendo las componentes pertinentes y las entidades químicas involucradas. La medición, incluyendo el sistema de medida y las condiciones bajo las cuales se realiza ésta, podría alterar el fenómeno, cuerpo o sustancia, de tal forma que la magnitud bajo medición difiriera del mensurando. En este caso sería necesario efectuar la corrección apropiada. Por ejemplo: La diferencia de potencial entre los terminales de una batería puede disminuir cuando se utiliza un voltímetro con una conductancia interna significativa. La diferencia de potencial en

circuito abierto puede calcularse a partir de las resistencias internas de la batería y del voltímetro. otro ejemplo es: La longitud de una varilla cilíndrica de acero en equilibrio térmico a una temperatura ambiente de 23 °C será diferente de su longitud a la temperatura de 20 °C, para la cual se define el mensurando. En este caso, es necesaria una corrección. En química, la “sustancia a analizar”, el “analito”, o el nombre de la sustancia o compuesto, se emplean algunas veces en lugar de “mensurando”. Esta práctica es errónea debido a que estos términos no se refieren a magnitudes.

Método de medida (Centro Español de Metrología, 2012): descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición.

NOTA Los métodos de medida pueden clasificarse de varias maneras como:

–método de sustitución,

–método diferencial,

–método de cero;

o

–método directo,

–método indirecto. Véase IEC 60050-300:2001

Patrón de medida, patrón (Centro Español de Metrología, 2012): realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.

Patrón Ejemplo	Incertidumbre típica asociada
Patrón de masa de 1 kg	incertidumbre típica asociada de 3 μg
Resistencia patrón de 100 Ω	incertidumbre típica asociada de 1 $\mu\Omega$
Patrón de frecuencia de cesio	incertidumbre típica relativa asociada de 2×10^{-15}
Solución tampón de referencia con un pH de 7,072	incertidumbre típica asociada de 0,006

Fuente: (Centro Español de Metrología, 2012):

Trazabilidad Metrológica (Centro Español de Metrología, 2012): propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida. La ILAC considera que los elementos necesarios para confirmar la trazabilidad metrológica son: una cadena de trazabilidad metrológica ininterrumpida a un patrón internacional o a un patrón nacional, una incertidumbre de medida documentada, un procedimiento de medida documentado, una competencia técnica reconocida, la trazabilidad metrológica al SI y los intervalos entre calibraciones (véase ILAC P-10:2002).

6. Alcances y limitaciones

El alcance del trabajo se enmarca en la identificación de las herramientas para el aseguramiento de la validez de los resultados y la conservación de la trazabilidad metrológica disponible en los documentos de trabajo de grado (Tesis) en los que, de acuerdo con el título y resumen disponible en el portal de la biblioteca de la Universidad Surcolombiana, permitieran inferir que se realizaron mediciones durante la ejecución de los trabajos entre 2015 y 2019, siendo pertenecientes a los programas educativos de Ingeniería Agrícola, Ingeniería de Petróleos, Ingeniería Electrónica y Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental.

El alcance original incluía, además de los 4 ya mencionados, a los programas de maestría en Ingeniería de Petróleos y el pregrado en Física desde 2015 hasta 2020, sin embargo, debido a limitaciones en el desarrollo de proyectos de grado durante la vigencia 2020 relacionada con la situación de bioseguridad mundial, se redujo la ventana de observación al período entre 2015 a 2019. Por otra parte, al no evidenciar trabajos de grado disponibles que cumplieran con los requisitos para considerarse parte de la población de estudio, se retiraron estos dos programas del alcance.

7. Diseño Metodológico

Se realiza un muestro aleatorio con selección sistemática y afijación proporcional, sobre los trabajos de grado disponibles en la página web de la biblioteca de la Universidad Surcolombiana, sede central, para los programas académicos: Ingeniería Agrícola, Ingeniería de Petróleos, Ingeniería Electrónica y Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, seleccionando como parte de la población aquellos trabajos de grado en los que, de acuerdo con el título y resumen disponible en el portal, permitieran inferir que se realizaron mediciones durante la ejecución de estos entre 2015 y 2019.

Una vez definida la totalidad de trabajos que requirieron la ejecución de mediciones en el periodo definido, se calculó el tamaño de muestra y se llevó a cabo muestreo de tipo aleatorio sistemático (estratificado) proporcional a la cantidad de trabajos de grado de los programas objeto de estudio, debido a que se identificaron diferentes cantidades de trabajos publicados por programa y por año. Se realizó la posterior evaluación de 17 parámetros cualitativos por parte de cada uno de los evaluadores, haciendo uso de una escala de 1 a 5 para 14 de ellas y Si/No para los 3 restantes.

En la sección 4.2 se presentaron a detalle los valores asignables a cada variable.

La independencia del resultado cada evaluador y la aleatoriedad en el resultado de la evaluación de los datos, se asegura toda vez que estos son emitidos por cada investigador por separado; para las primeras 14 características, se promedian los resultados. En el caso de las características a, i y j se revisan los casos en que existan diferencias entre los evaluadores.

Los investigadores no son funcionarios de la universidad, no participaron en los trabajos de grado de los programas bajo estudio y no presentan conflictos de interés a la hora de realizar las evaluaciones de las características de cada trabajo de grado.

Una vez recolectada la información de los trabajos de grado, se procesan haciendo uso del software Microsoft Excel. Se efectuarán los análisis a que haya lugar y se propondrán herramientas de aseguramiento de la validez de los resultados y trazabilidad metrológica de las mediciones.

7.1 Enfoque de investigación

El estudio tiene un enfoque cualitativo, con técnica de recolección de datos observacional.

7.2 Población de estudio

La investigación se realiza en Colombia, departamento del Huila, en la Universidad Surcolombiana, Institución de educación superior sujeta a inspección y vigilancia del Ministerio de Educación Nacional. La población de estudio son los trabajos de grado de los programas académicos: Ingeniería Agrícola, Ingeniería de Petróleos, Ingeniería Electrónica y Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental, que indicaron el reporte de resultados de medición o el uso de resultados de medición, disponibles en la página web de la biblioteca de la Universidad Surcolombiana, sede central, seleccionando como población objeto de estudio aquellos trabajos de grado en los que, de acuerdo con el título y resumen disponible en el portal, permitieran inferir que se realizaron mediciones durante la ejecución de estos entre 2015 y 2019.

7.3 Muestra y prueba piloto

La muestra calculada se tomó con las siguientes características:

Característica		Valores
N	Tamaño de la población	142
n	Tamaño muestra	101
1- α	Nivel de confianza	0,95
e	Error aceptable	0,05
$Z_{\alpha/2}^2$	Valor de la tabla z normal	1,96
p	Proporción de individuos de la población que poseen la característica que se está estudiando	0,35
$n_{ajustado}$	Tamaño de muestra ajustado	106

Fuente: Autores

Se tomó una muestra del 14% de la población para realizar una prueba piloto, con la cual se validó el instrumento y se obtuvo el parámetro $p=0,35$ utilizado para la definición del tamaño total de muestra. Se realizó un ajuste por tasa de no respuesta esperado del 5%, buscando una menor cantidad de muestras, toda vez que, durante la etapa de recolección de la información, el acceso a la universidad se encontraba controlado, debido a la situación de bioseguridad que vive la ciudad; con estos valores se obtuvo un tamaño de muestra ajustado de 106 trabajos de grado. Para la selección de las tesis a revisar, se realizó un muestreo aleatorio estratificado con selección sistemática y afijación proporcional de los programas académicos en la ventana de observación de 2015 a 2019.

7.4 Instrumento y materiales

Teniendo en cuenta que las tesis de la Universidad Surcolombiana para el periodo comprendido entre 2015 y 2019 se encuentran disponible en versión digital, los materiales utilizados para la recolección de datos y el procesamiento de la información, se resume en dos equipos de cómputo portátiles, software de ofimática Microsoft Excel y procesadores de texto.

7.5 Proceso de Recolección de los datos

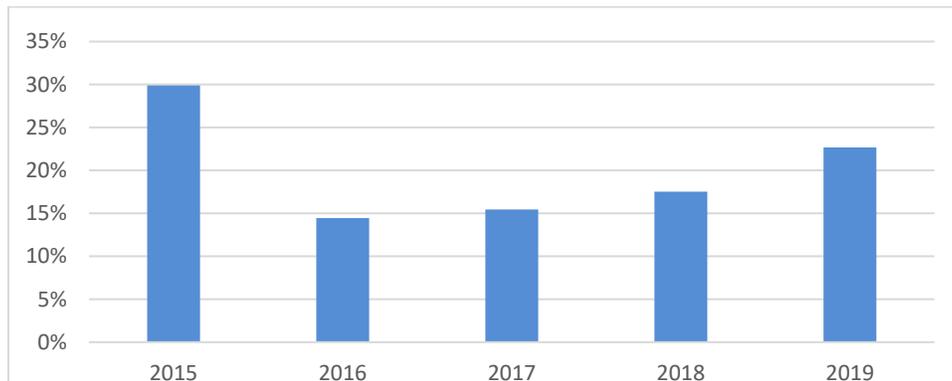
La información se sistematizó en una base de datos de los trabajos que cumplían con las características para ser incluidos en este estudio. Se listaron las 106 tesis a revisar y se ubicó en columnas cada uno de los 17 parámetros a evaluar por parte de cada uno de los autores de este trabajo. La asignación de un puntaje para cada tesis en cada parámetro se realizó de manera independiente y una vez conseguido el resultado asignado, se generó un promedio entre los resultados de cada uno de los investigadores. Dicho resultado es el analizado en esta discusión.

8. Resultados

8.1 Volumen de trabajos de grado generados entre 2015 y 2019.

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos ver en la Fuente: Autores que la publicación de los trabajos de grado que llevaron a cabo mediciones se generó mayoritariamente en el año 2015, mientras que 2016 es el año con la menor cantidad de publicaciones, luego se genera un incremento progresivo hasta 2019, el segundo año con mayor cantidad de trabajos de grado publicados en los programas de Ingeniería Agrícola, Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Petróleos y Maestría en Ingeniería Ambiental.

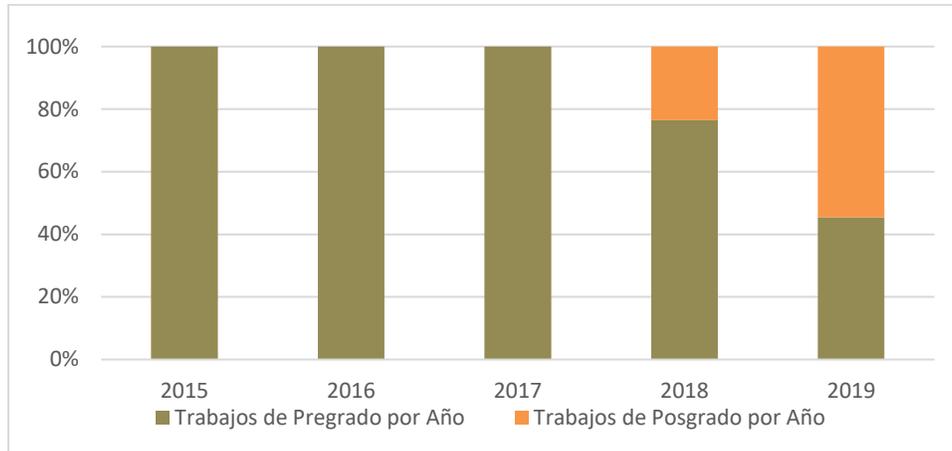
Gráfica 2. Distribución de generación de trabajos de grado por año



Fuente: Autores

Los trabajos de grado entre los años 2015 y 2017, fueron generados por los programas de pregrado, solamente en 2018 y 2019 se obtuvieron trabajos de grados de posgrado, con un incremento progresivo, **Gráfica 3.**

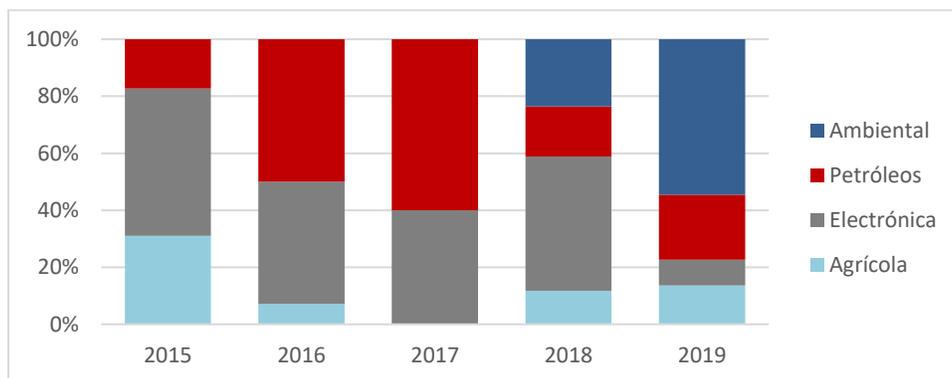
Gráfica 3. Porcentaje de trabajos de grado de pregrado y posgrado por año entre 2015 y 2019



Fuente: Autores

Se encontró que los programas de Ingeniería de petróleos e Ingeniería electrónica publicaron trabajos de grado en cada año del período analizado, ingeniería agrícola no tuvo publicaciones en 2017 y la maestría en ingeniería ambiental, de acuerdo con su reciente creación, tiene publicaciones desde 2018, **Gráfica 4**

Gráfica 4. Trabajos de grado por cada programa en cada año.

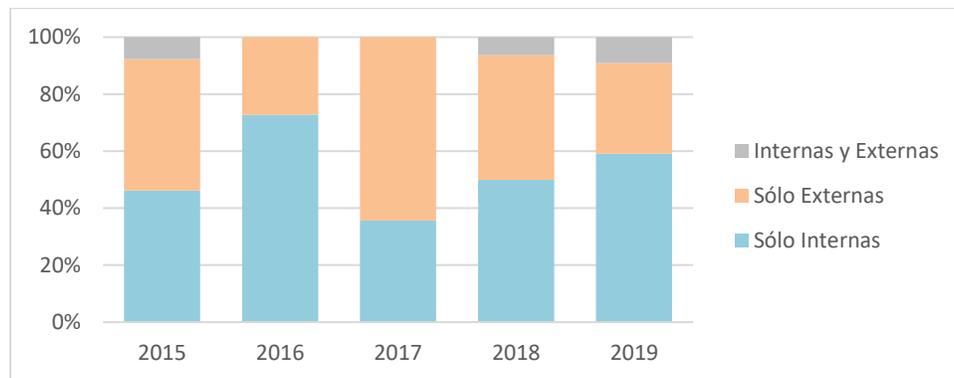


Fuente: Autores

8.2 Procedencia de los equipos de medición de trabajos de grado objeto de estudio, el reporte de su estado de calibración, el reporte de uso de métodos reconocidos, el reporte de los responsables de la ejecución de la medición y el reporte de uso de medidas repetidas.

En la Gráfica 5 podemos observar la distribución de trabajos de grado que sólo han tenido mediciones generadas con equipos de la universidad (Sólo internas), trabajos de grado que sólo han tenido mediciones con equipos de otras instituciones (Sólo externas) y trabajos de grado que cuentan con resultados generados por mediciones internas y externas.

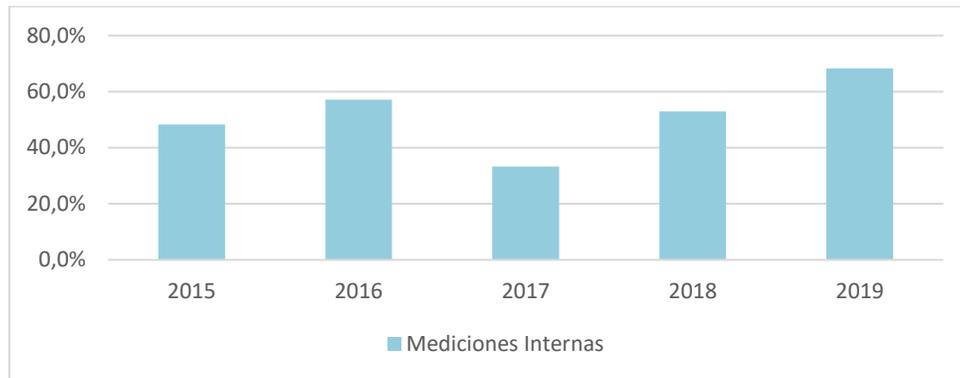
Gráfica 5. Porcentaje de trabajos de grado con mediciones internas o externas o Internas y Externas por año.



Fuente: Autores

A partir de los resultados obtenidos, Gráfica 6, podemos encontrar que, en promedio, el 52% de trabajos generados entre 2015 y 2019 reportaron resultados haciendo uso de instrumentos de medición pertenecientes a la Universidad Surcolombiana – USCO, estos a excepción del año 2017, tiene una distribución homogénea de cantidades en el período de estudio, sin embargo, las cohortes de 2017 presentan un comportamiento menor.

Gráfica 6. Porcentaje de trabajos de grado con mediciones ejecutadas exclusivamente con equipos de la USCO entre 2015 y 2019.

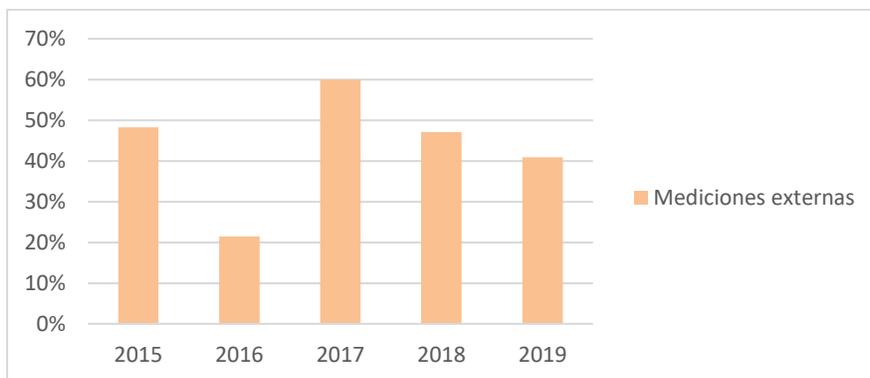


Fuente: Autores

La

Gráfica 7 nos muestra que en el año 2017 se llevaron a cabo el mayor número de mediciones externas en los trabajos de grado (60%), mientras que en el año que le precede (2016) fue el que menor número de mediciones presentó (21%). Para los demás periodos estudiados, las mediciones externas se situaron entre el 40% y 50%.

Gráfica 7. Porcentaje de trabajos de grado que realizaron mediciones con equipos externos a la USCO, por año

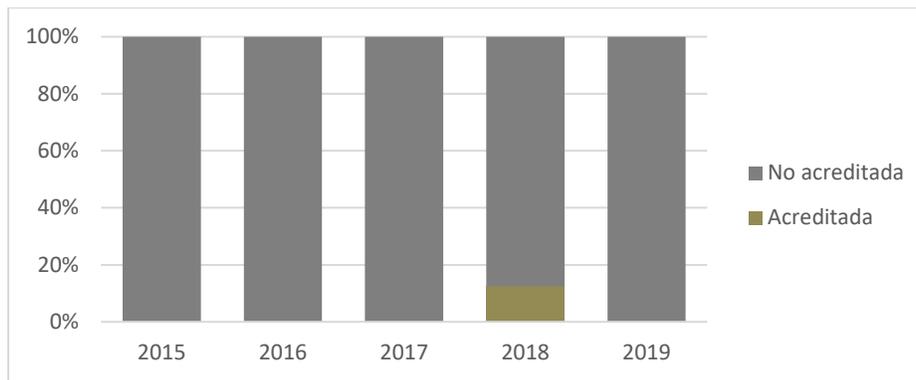


Fuente: Autores

De las mediciones externas, se destaca que solamente en la vigencia 2018 aproximadamente el 10% de los trabajos de grado efectuaron mediciones utilizando laboratorios con alcances acreditados, Gráfica 8; en los demás años estudiados, los trabajos de grado analizados no reportaron haber efectuado mediciones con laboratorios acreditados.

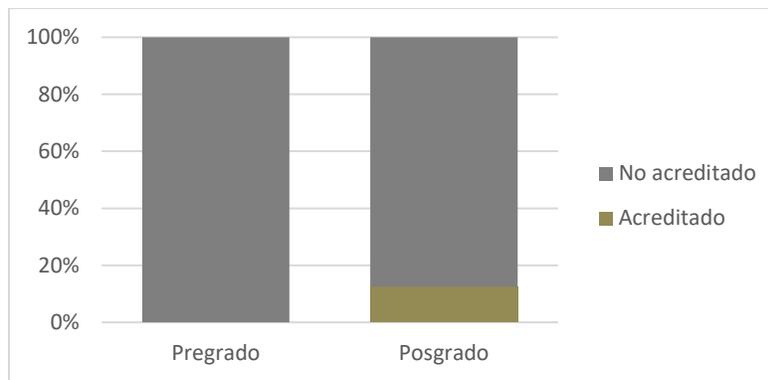
Adicionalmente, comparando pregrado y posgrado, se evidencia que las pocas mediciones con laboratorio acreditado fueron reportadas por los TG de posgrado tal como se muestra en el **Gráfica 9**, lo cual puede atribuirse a la necesidad de tener mayor grado de validez de los resultados reportados en las investigaciones hechas por los estudiantes de posgrado.

Gráfica 8. Porcentaje de trabajos de grado con mediciones realizadas en laboratorios con alcances acreditados, por año.



Fuente: Autores

Gráfica 9. Mediciones externas de trabajos de grado realizadas en laboratorios con alcances acreditados - comparativo entre pregrado y posgrado, periodo 2015-2019



Fuente: Autores

Para facilitar la presentación de los resultados obtenidos, respecto de las variables que influyen en el desempeño de los resultados reportados en cada trabajo de grado, se realizó una división de los trabajos de grado en dos grupos, el primero conformado por los resultados reportados que fueron ejecutados con equipos de la universidad, sección 8.2.1 y un segundo grupo, con los resultados reportados obtenidos con equipos pertenecientes a otras instituciones, sección 8.2.2.

8.2.1 Estado de calibración de equipos de medición, el uso de métodos reconocidos, el reporte de responsable de ejecución de la medición y repetición en las medidas, para resultados emitidos con instrumentos de la USCO

Para la interpretación de los resultados se tiene en cuenta lo siguiente: Los investigadores revisaron el grado de presencia en los trabajos de grado de cada una de las variables indicadas en el numeral 4.2 para cada medición y metodología reportada; de acuerdo con el porcentaje de presencia obtenido en el promedio de la revisión de los dos investigadores, el resultado fue ubicado dentro de las siguientes niveles de intervalos de resultados (ver Tabla 3), a los cuales se les asignó un color para identificar intuitivamente la presencia o ausencia del reporte de cada variable considerada en los trabajos de grado y tratar los resultados de la revisión como categorías, así por ejemplo, los trabajos de grado en los cuales menos del 15% de sus mediciones y metodologías reportadas contaban con alguna de las variables analizadas, se les asignó al nivel de trabajos de grado en rojo, mientras que las que tienen una presencia superior al 85% caen en el nivel verde y así para cada nivel, el porcentaje de presencia de cada nivel es el que se representa en las gráficas, a continuación:

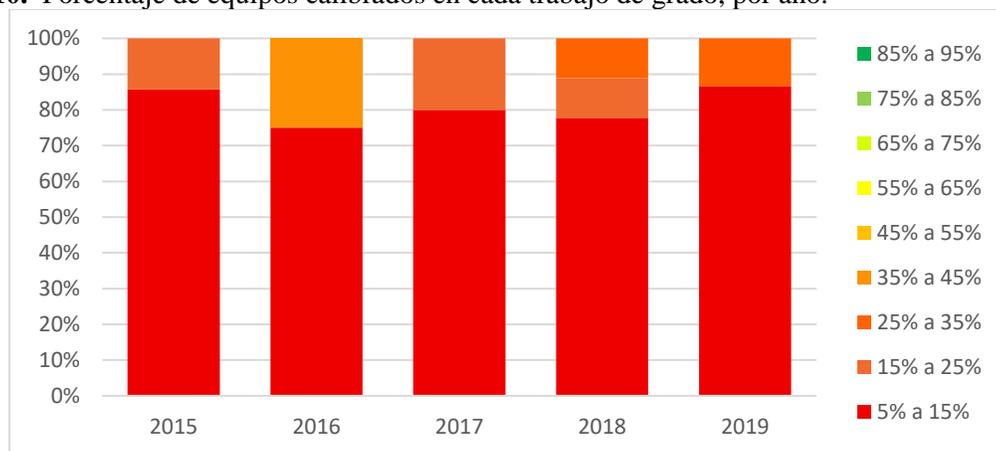
Tabla 3. Intervalos de resultados y colores asignados para el análisis de las gráficas de barras.

Intervalo	Color Asignado
85% a 95%	
75% a 85%	
65% a 75%	
55% a 65%	
45% a 55%	
35% a 45%	
25% a 35%	
15% a 25%	
5% a 15%	

Fuente: Autores

La información disponible en los trabajos de grado y presentada en la Gráfica 10, evidencia que la declaración sobre la calibración de instrumentos de medición utilizados es considerablemente baja. Sobre el reporte del estado de calibración de los instrumentos de medición utilizados, en promedio el 80% de los trabajos de grado en cualquiera de los años, reportan información para menos del 15% de los equipos utilizados y en ningún caso se encontró reporte del estado para al menos el 50% de equipos en ningún trabajo de grado, ni en pregrado ni es posgrado, Gráfica 10.

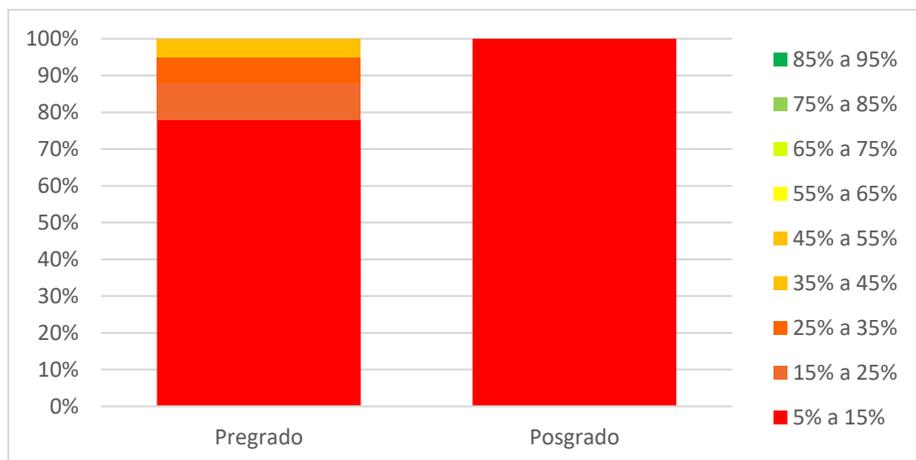
Gráfica 10. Porcentaje de equipos calibrados en cada trabajo de grado, por año.



Fuente: Autores

Al comparar los trabajos de pregrado con posgrado, se encontró una mayor cantidad de reportes en pregrado, **Gráfica 11**

Gráfica 11. Reporte de uso de equipos calibrados en trabajos de grado de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 - 2019

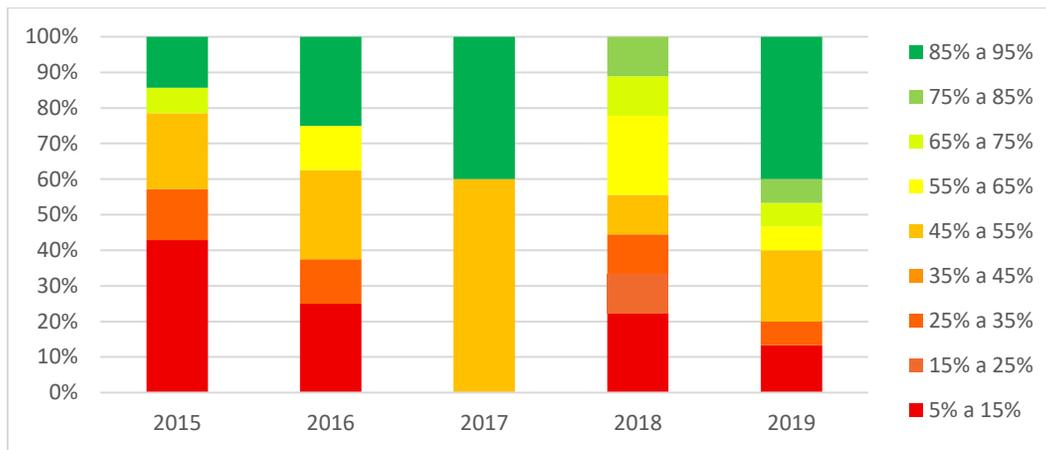


Fuente: Autores

Sobre la información disponible en los trabajos de grado publicados entre 2015 y 2019, la Fuente: Autores, encontramos que fue en 2017, cuando más de un 45% de las metodologías utilizadas indicaban el uso de un método de medición normalizado o reconocido. Encontramos igualmente que el comportamiento en general (exceptuando 2017), presenta una mejora sustancial en el uso de métodos normalizados/reconocidos con el paso de los años.

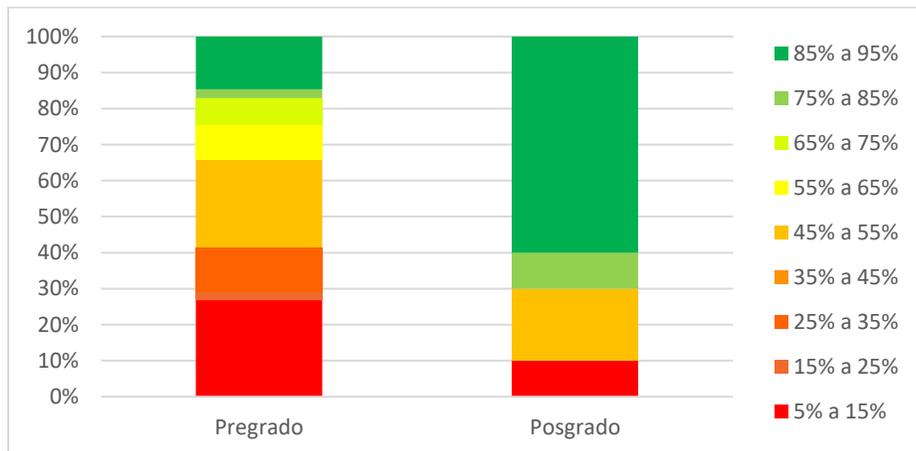
De acuerdo con la **Gráfica 12**, al menos el 60% de los trabajos de posgrado reportan métodos normalizados o reconocidos para más del 85% de las mediciones con las que generaron sus datos, mientras que es pregrado, la cifra no llega al 20% **Gráfica 13**

Gráfica 12. Porcentaje de métodos de medición normalizados y/o reconocidos en trabajos de grado de programas académicos estudiados, periodo 2015 – 2019



Fuente: Autores

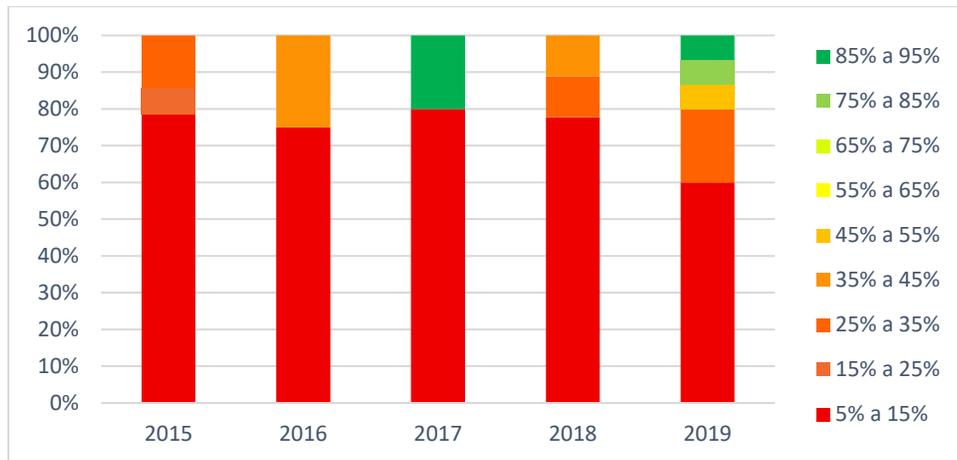
Gráfica 13. Uso de métodos de medición normalizados o reconocidos en TG de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 -2019.



Fuente: Autores

En la **Gráfica 14** podemos ver como en cada uno de los años analizados, entre el 60% y el 80% de los trabajos de grado, reportó el uso de patrones o MRC en menos del 15% de los instrumentos utilizados.

Gráfica 14. Porcentaje de mediciones que utilizaron patrón de referencia o MRC en cada trabajo de grado, por año



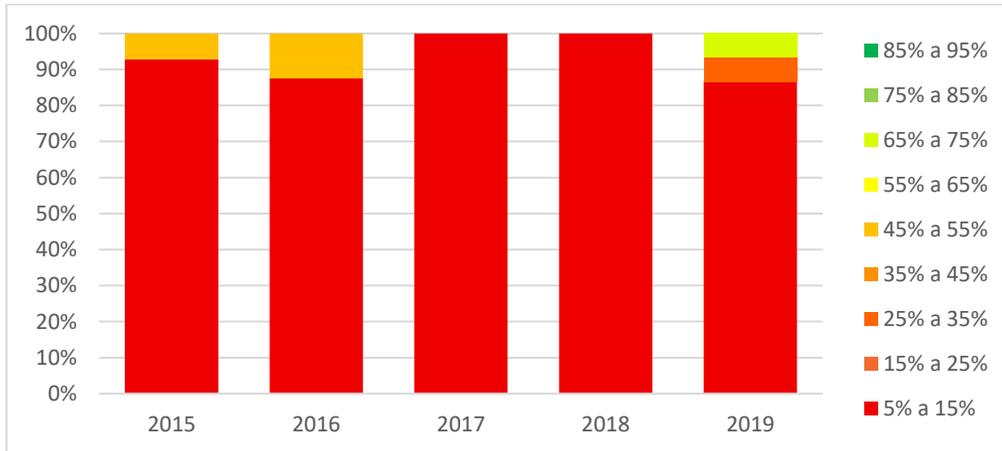
Fuente: Autores

En los trabajos de grado con mediciones ejecutadas al interior de la USCO, no fue sencillo identificar si los resultados reportados provienen de mediciones ejecutadas directamente por los autores o por sus docentes o por el personal técnico de los laboratorios, **Gráfica 15**

La **Gráfica 16** muestra qué tanto fue reportado el uso de réplicas de medición en los trabajos de grado. De manera general, en más del 50% de los trabajos de grado se reporta que, por lo menos, el 25% de las mediciones tuvieron réplicas, el reporte es mayor en el caso de trabajos de grado de posgrado **Gráfica 17**

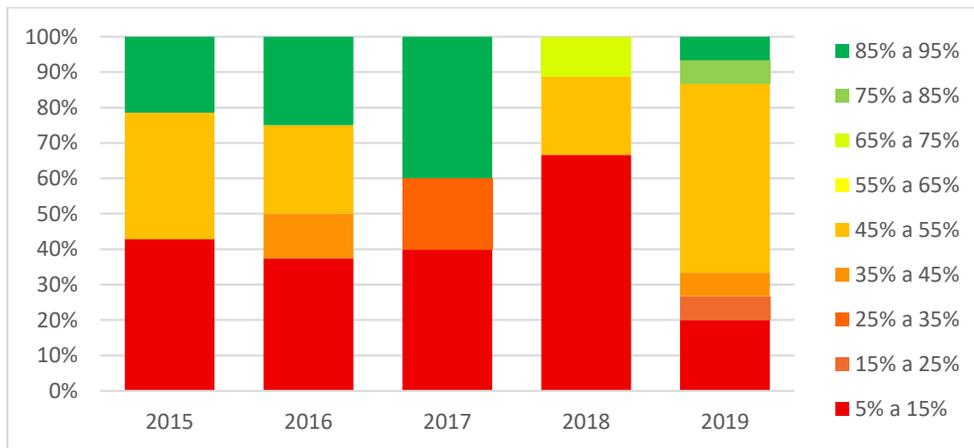
Espacio en Blanco

Gráfica 15. Porcentaje de mediciones en las que se identifica quién las realizó en cada trabajo de grado, por año.



Fuente: Autores

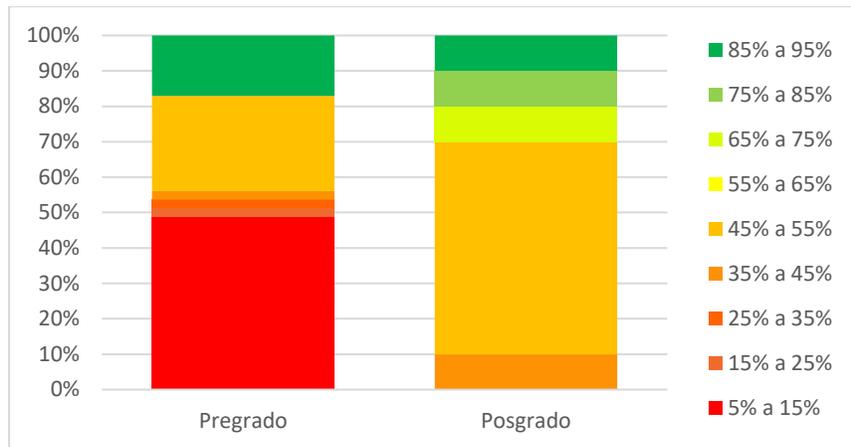
Gráfica 16. Porcentaje de mediciones con réplicas en cada trabajo de grado, por año.



Fuente: Autores

Espacio en Blanco

Gráfica 17. Mediciones con réplicas en trabajos de grado de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 - 2019



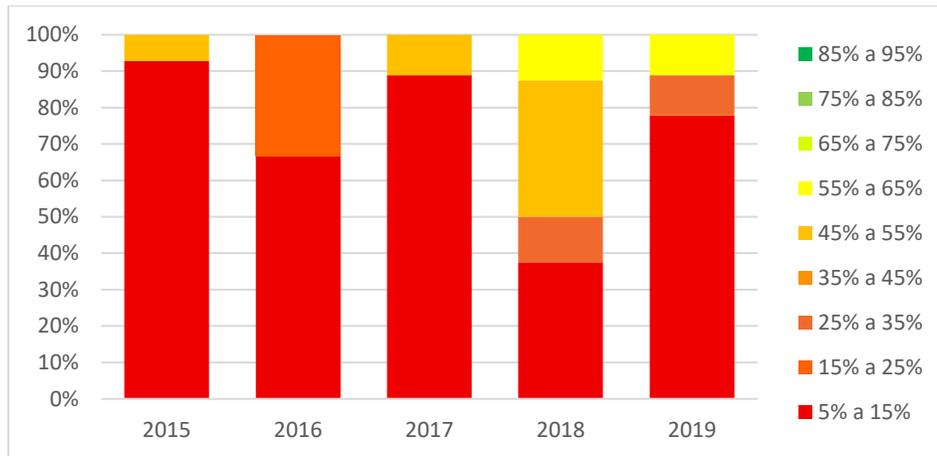
. Fuente: Autores

8.2.2 Resultados emitidos con instrumentos de otras instituciones.

A continuación, se tratan los resultados obtenidos en relación con el estado de calibración de equipos de medición, el uso de métodos reconocidos, el reporte de responsable de ejecución de la medición y repetición en las medidas, para

De acuerdo con la **Gráfica 18**, el uso de equipos calibrados en los trabajos de grado (TG) que tuvieron mediciones externas (ME) fue considerablemente bajo. Cerca del 90% de las mediciones hechas en los años 2015, 2017 y 2019 fueron hechas con equipos que en su totalidad no superaban el 25% el estado de calibración. Los años 2016 y 2018 presentan menores proporciones en el uso de equipos con baja calibración. Por otra parte, fue el año 2018 en el que mayor uso de equipos calibrados se evidenció.

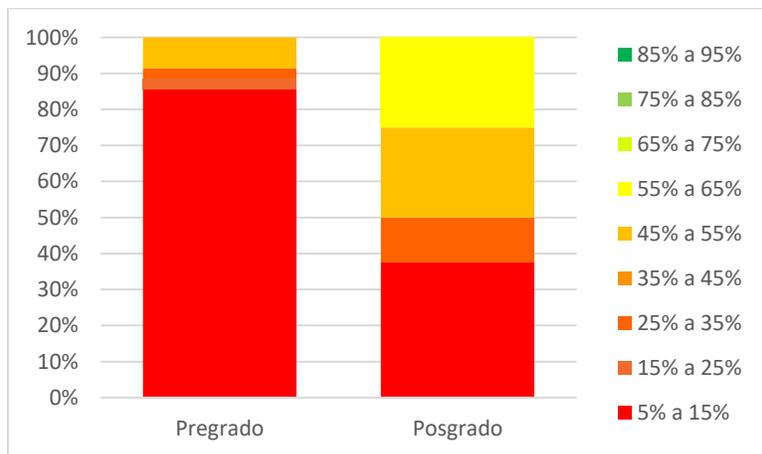
Gráfica 18. Porcentaje de equipos calibrados en cada TG con ME, por año



Fuente: Autores

Comparativamente, en la **Gráfica 19** se observa que en los trabajos de grado de los programas de posgrado reportan un mayor porcentaje de equipos calibrados que pregrado.

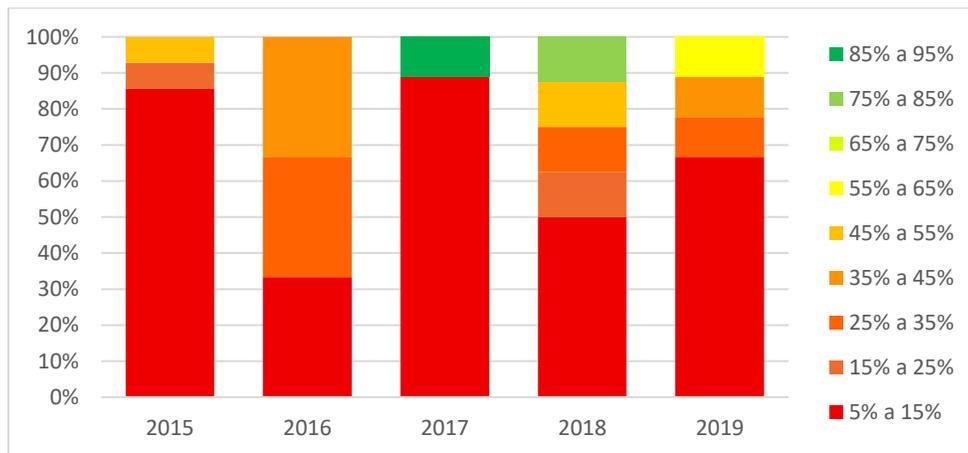
Gráfica 19. Porcentaje de equipos calibrados reportados en TG de pregrado y posgrado con ME, periodo 2015 – 2019



Fuente: Autores

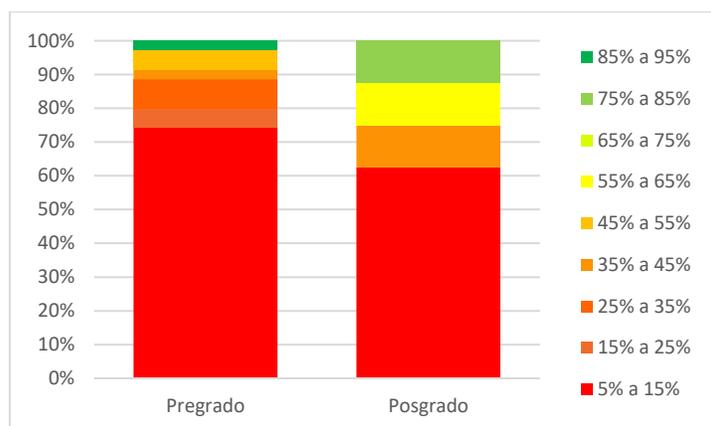
Adicionalmente, no basta con solo tener los equipos de medición calibrados para demostrar que sus mediciones son trazables metrológicamente; se necesita, además, verificar frecuentemente con ayuda de patrones de referencia o materiales de referencia certificados (MRC) que las mediciones arrojen resultados idénticos o muy similares a los que estos elementos poseen. Para el caso de los trabajos de grado que tuvieron mediciones externas, cerca del 90% de estos tuvieron un reducido uso de patrones o MRC. Solo en los años 2017 y 2018 aproximadamente un 10% de los trabajos de grado utilizaron en buena parte de sus mediciones dichos patrones, **Gráfica 20**. Comparando entre pregrado y posgrado (ver **Gráfica 21**), se logra constatar que hay mayor uso de patrones o MRC en los trabajos de posgrado, lo cual puede atribuirse a un mayor desarrollo en el componente técnico e investigativo que merece dicho nivel de educación.

Gráfica 20. Porcentajes de Trabajos de Grado con Mediciones Externas que utilizaron patrones de referencia o MRC, por año



Fuente: Autores

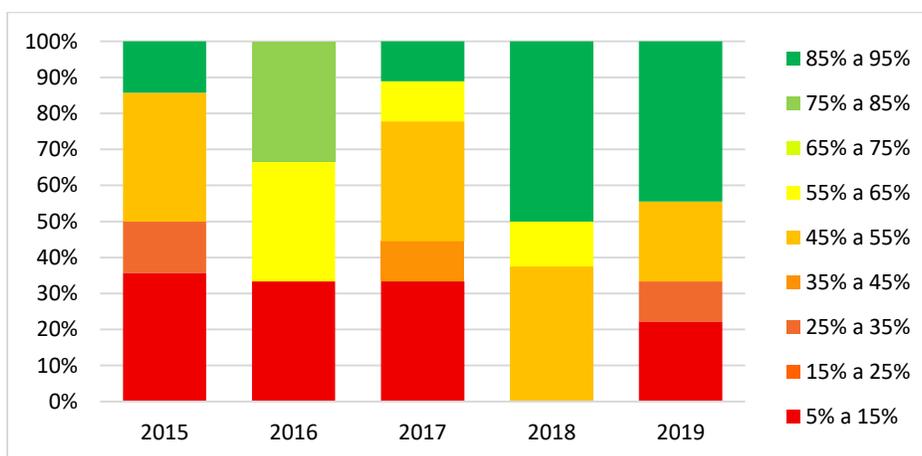
Gráfica 21. Porcentajes de TG de pregrado y posgrado con ME que usaron patrones o MRC, periodo 2015 – 2019



Fuente: Autores

En cuanto al uso de métodos normalizados o reconocidos en las mediciones externas, se destaca, al igual que en las internas, un incremento en la proporción de trabajos de grado que usaron este tipo de métodos a medida que se incrementa el año, siendo el 2018 el que más reportó uso de métodos normalizados o reconocidos, tal como se muestra en la **Gráfica 22**:

Gráfica 22. Porcentaje de métodos de medición normalizados o reconocidos declarados en cada TG con ME, por año.



Fuente: Autores

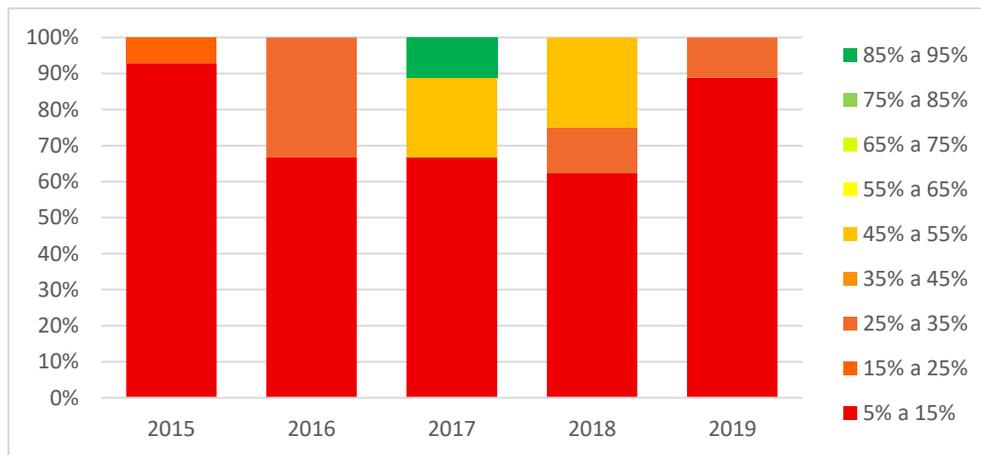
De manera similar a las gráficas anteriores que muestran el comportamiento de las variables estudiadas por años, en la trazabilidad metrológica en las mediciones externas

efectuadas en los trabajos de grado se observan porcentajes elevados en cuanto al bajo reporte de esta característica de medición, siendo el año 2017 el que destaca por ser el que más trabajos de grado registraron trazabilidad metrológica (ver **Gráfica 23**)

Comparando los niveles educativos de pregrado y posgrado, obtenemos la

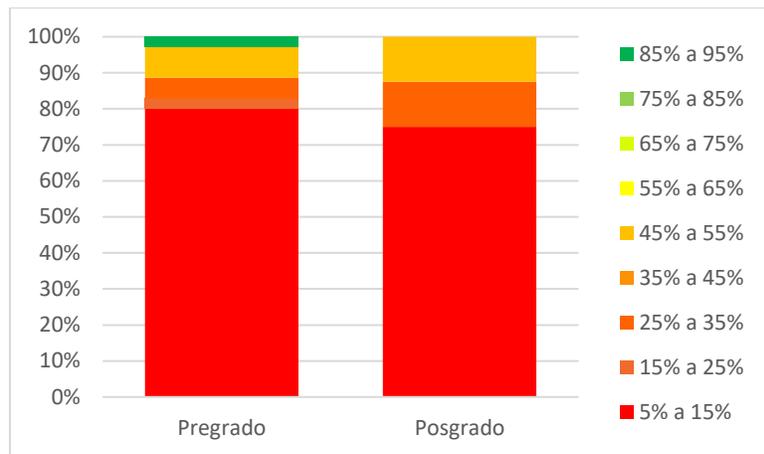
Gráfica 24, en donde se muestra que hay bastante similitud en cuanto al grado de declaración de trazabilidad metrológica.

Gráfica 23. Porcentajes de TG con mediciones externas que declaran trazabilidad metrológica, por año



Fuente: Autores

Gráfica 24. Porcentajes de TG de pregrado y posgrado con ME que declaran trazabilidad metrológica, periodo 2015 - 2019

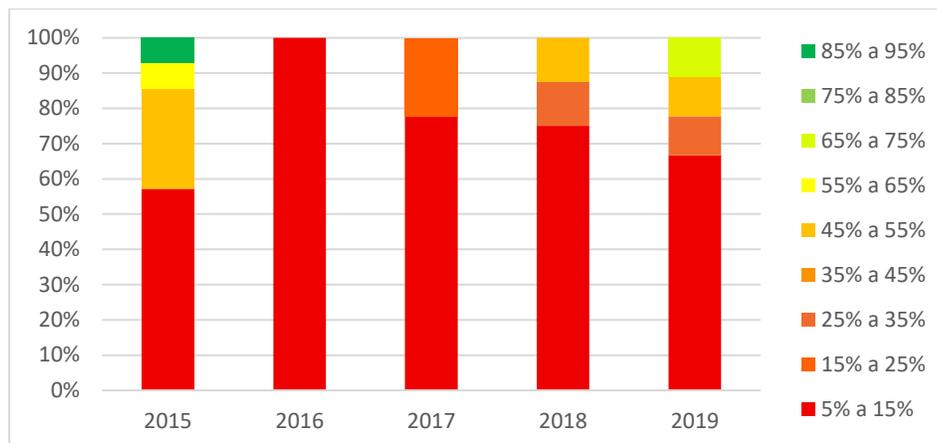


Fuente: Autores

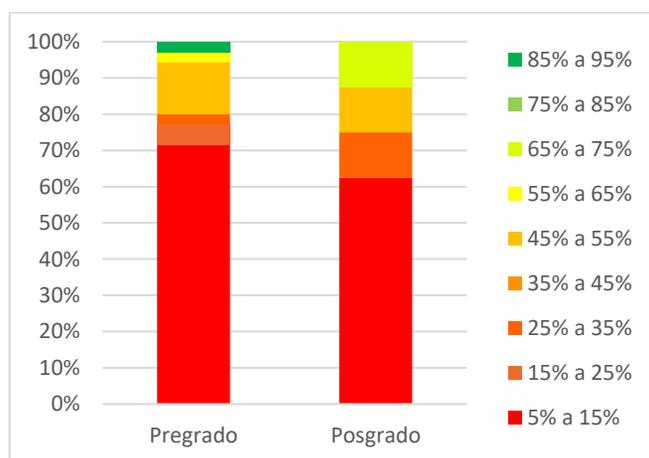
En cuanto a la identificación del personal que llevó a cabo mediciones con equipos externos en los trabajos de grado, se observa en la **Gráfica 25** que los años en que reportaron con detalle este aspecto fueron, en orden de mayor a menor, las vigencias 2015 y 2019; sin embargo, cabe resaltar que, en la mayoría de los TG, más del 50% reportaron, a lo mucho, solo hasta un 15% del total de la información que permite identificar quiénes fueron los que llevaron a cabo las mediciones en ellos reportadas.

Como dato adicional, la totalidad de los TG del año 2016 solo reportaron hasta en un 15% la información de los responsables de llevar a cabo las mediciones ejecutadas.

Respecto a los trabajos de pregrado y posgrado en los años estudiados, aproximadamente el 70% y 60% de los TG de cada nivel educativo, respectivamente, solo reportaron hasta en un 15% la información de los responsables que realizaron las ME que en ellos se registraron (**Gráfica 26**) Los porcentajes restantes de los TG (30% y 40%, respectivamente) son similares en cuanto a la proporción de identificación y reporte del personal que llevó a cabo las mediciones que en ellos se ejecutaron.

Gráfica 25. Porcentajes de TG con ME en los que se identifica quiénes realizaron las mediciones, por año

Fuente: Autores

Gráfica 26. Porcentajes de TG de pregrado y posgrado con ME en los que se identifica quién realizó en cada uno de ellos las mediciones, periodo 2015 - 2019

Fuente: Autores

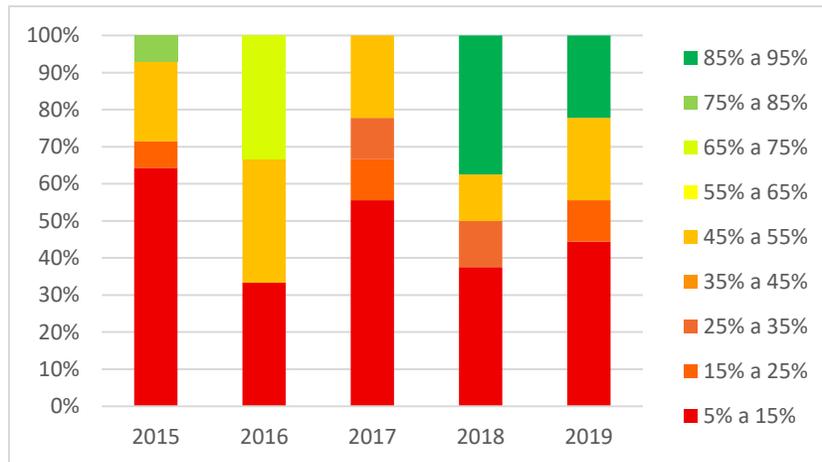
Para conocer el grado de repetibilidad en las ME de los TG estudiados, se cuantificó en la escala definida los porcentajes que cada TG tuvo en cuanto a la realización de réplicas de medición.

En la **Gráfica 27** se constata que en los años que se tuvieron más réplicas de medición en dichos TG fueron, en orden descendente, 2018, 2019 y 2016; sin embargo, en esos mismos años, los porcentajes de TG que tuvieron solo hasta un 15% de mediciones con réplicas de medición

fueron cercanos al 40%, 45% y 35%, respectivamente, mientras que los periodos 2015 y 2017 fueron aproximadamente del 65% y 55%, respectivamente.

Por otra parte, al comparar pregrado y posgrado (**Gráfica 28**), vemos que hay una diferencia muy marcada entre ambos tipos de niveles de educación, siendo los TG de posgrado en los que más se han realizado réplicas de mediciones (50% de los TG han tenido entre un 85% y 95% de registro de réplicas de medición), mientras que aproximadamente el 10% de los TG han reportado bajas réplicas en sus mediciones (5% a 15%). En cuanto a pregrado, el 60% de los TG tuvieron bajas réplicas de medición.

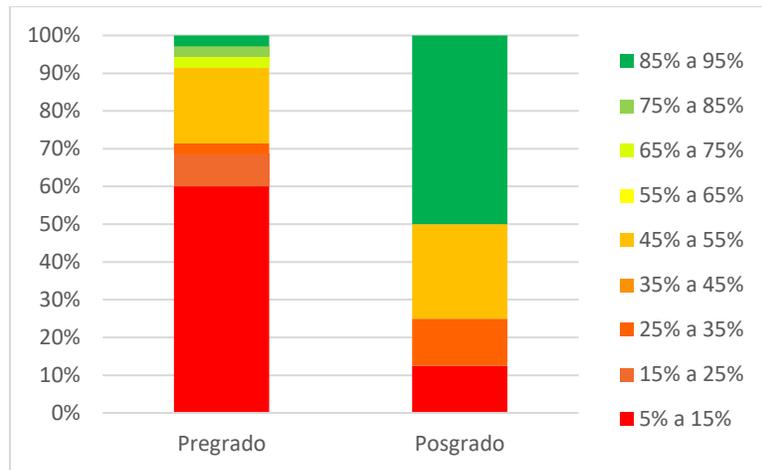
Gráfica 27. Porcentajes de TG con ME que realizaron réplicas de mediciones, por año



Fuente: Autores

Espacio en blanco

Gráfica 28. Porcentaje de réplicas de mediciones en trabajos de grado de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 - 2019



Fuente: Autores

8.3 Sobre el uso y reporte de la incertidumbre de la medición en los resultados reportados

Teniendo en cuenta que las fuentes de la incertidumbre dependen, entre otros, del estado metrológico de los instrumentos de medición disponibles, se ha hecho una división para el análisis, entre los resultados emitidos con equipos pertenecientes a la Universidad Surcolombiana y los pertenecientes a otras entidades:

8.3.1 Uso y reporte de la incertidumbre en datos generados con equipos pertenecientes a la Universidad Surcolombiana.

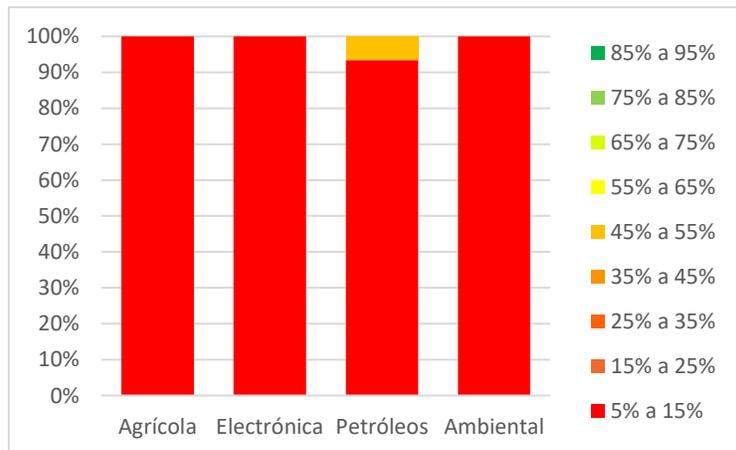
Las mediciones realizadas con instrumentos manuales o con tecnologías más avanzadas, pueden ser evaluadas de acuerdo con su incertidumbre. Hacer uso de este valor, no solo nos va a permitir tener en cuenta los aportes de las fuentes que intervienen en la ejecución de una medición, sino que también nos permitirá identificar la calidad de esa. La incertidumbre de la medición se ve influenciada por el método de medición empleado, el estado de mantenimiento de

los equipos utilizados, su calibración, el aporte por patrones o materiales de referencia y la repetibilidad aportada entre el instrumento y el analista/operario de este; el reporte de este parámetro solo se encontró en algunas mediciones de trabajos de grado publicados en 2017 realizados con equipos de la universidad y en ninguna medición reportada con instrumentos externos, los trabajos de grado que hicieron uso y reporte de alguna incertidumbre de la medición

(**Gráfica 29**

), hacen parte del programa de ingeniería de Petróleos, tal vez por las metodologías y controles requeridos en este sector, claramente regulado, aunque llama la atención que ninguna medición ejecutada con instrumentos de empresas o laboratorios relacionadas con este sector, tengan resultados con reportes de incertidumbre de la medición.

Gráfica 29. Mediciones realizadas al interior de la USCO, con incertidumbre en los trabajos de grado de programas académicos estudiados, periodo 2015 – 2019.

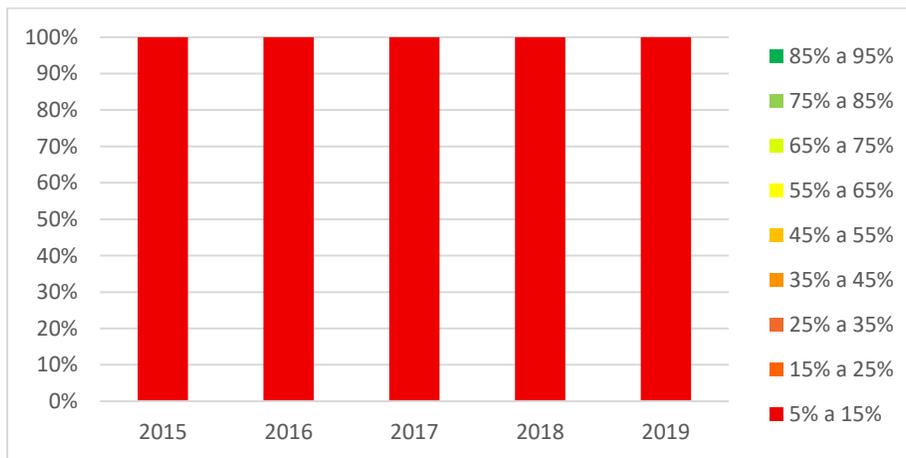


Fuente: Autores

8.3.2 Uso y reporte de la incertidumbre en datos generados con equipos pertenecientes a otras instituciones.

Respecto a la incertidumbre de medición con equipos externos a la USCO, la **Gráfica 30** nos refleja que este componente tuvo una proporción muy baja y constante en todas las vigencias estudiadas, reflejando que, prácticamente este componente no fue considerado en ninguno de los TG del periodo estudiado, por tal motivo, tampoco es posible la comparación de esta variable estudiada entre los TG de los niveles de formación de pregrado y posgrado.

Gráfica 30. Porcentajes de TG con ME en los que se tienen en cuenta la incertidumbre en las mediciones, por año



Fuente: Autores

8.4 Estrategias aplicables a las mediciones en trabajos de grado de la USCO para conservación de la trazabilidad metrológica y la validez de los resultados.

En vista de la limitada cantidad de información que se logró evidenciar en los trabajos de grado estudiados, se presentan a continuación, posibles estrategias aplicables a la hora de

recopilar los datos relacionados con las mediciones ejecutadas, de manera que permitan conservar la trazabilidad metrológica:

8.4.1 Herramienta para inventario de instrumentos, equipos y patrones.

Se propone que, durante la planeación de la metodología a implementar, los investigadores realicen una relación/inventario de los instrumentos, equipos y patrones a utilizar, junto con la información relacionada con la trazabilidad metrológica al Sistema Internacional de Unidades. Este inventario, incluye: información de identificación del instrumento, procedencia, información sobre la calibración e información sobre capacidades metrológicas, tal como se muestra a continuación, ver Tabla 4:

Tabla 4. Propuesta de lista de equipos y patrones para mediciones.

LISTA DE EQUIPOS Y PATRONES PARA MEDICIONES											
Nombre de la entidad propietaria de los equipos						FECHA DE DILIGENCIAMIENTO (aaaa-mm-dd)					
No	Tipo de equipo (Seleccionar una opción)	Nombre del equipo	Marca	Modelo	Serie	Código interno	Fecha de la última calibración	Número de informe o certificado de calibración	Laboratorio que realizó la calibración	Resolución equipo	Intervalo de medición
1	PRINCIPAL										
2	AUXILIAR										
3	PATRON										
4											
5											

Fuente: Autores

8.4.2 Inclusión en el documento de trabajo de grado de un anexo llamado: Instrumentos, equipos y trazabilidad metrológica.

Para lograr compilar la información detallada de los equipos de medición utilizados en los trabajos de grado en un solo lugar dentro del documento se propone que dicha sección haga parte de los anexos. La tabla 1 permitiría obtener la información de todos los instrumentos de medición utilizados susceptibles de ser calibrados, sean de propiedad de la USCO o de entidades

externas, así como datos tales como número de serie, intervalo de medición, resolución, quién llevó a cabo la calibración, certificado que lo demuestra, fecha de su realización y nombre de las personas que lo utilizaron.

De forma similar, en la tabla 2 de dicho anexo, se ubicaría la información para la trazabilidad metrológica de equipos no calibrables pero que utilizan patrones, MR o MRC para tal fin (p. ej: cromatógrafos, espectrofotómetros de absorción atómica, entre otros).

Aparte de la información que describe la identificación y las características metrológicas del equipo, en dicha tabla se solicita el registro de datos de alta relevancia tales como nombre de proveedor del patrón o MRC, certificados que demuestran su validez y la fecha límite para su uso (fecha de expiración).

De la siguiente forma se sugiere una plantilla para el anexo propuesto:

Instrumentos, equipos y trazabilidad metrológica

A continuación, se presenta la información relacionada con los instrumentos de medición utilizados para la investigación. *-se deberá incluir tantas filas como magnitudes o instrumentos de medición sea utilizados-*

Tabla A. Datos de Trazabilidad metrológica de instrumentos calibrables.

Nombre del Instrumento:	Marca	N° de Serie:	Intervalo de Medición	Resolución [unidades]	Calibrado por:	Código Certificado	Fecha de Calibración	El instrumento pertenece a:	Operado por:
-------------------------	-------	--------------	-----------------------	-----------------------	----------------	--------------------	----------------------	-----------------------------	--------------

			[unidades]			de Calibración			

Fuente: Autores

Tabla B. Datos de Trazabilidad metrológica de instrumentos no calibrables y con MRC o patrón.

Nombre del Instrumento	Marca	N° de Serie	Intervalo de Medición [unidades]	Resolución [unidades]	Proveedor de MRC/Patrón	Código del Certificado del MRC/Patrón	Fecha de Expiración del MRC/Patrón	El instrumento pertenece a:	Operado por:

Fuente: Autores

8.4.3 Priorización del uso de métodos de medición normalizados.

Si bien esto no es un mecanismo aplicable de manera práctica como el propuesto en el numeral 8.4.1, este se plantea a manera de recomendación para el cuerpo docente y para los estudiantes de cualquier programa académico que requieran llevar a cabo mediciones en sus trabajos de grado. Cabe destacar que, en muchos casos, la selección de métodos de medición propicios para los fines previstos se ve limitada debido a factores tales como desconocimiento de su aplicación e insuficiencia de equipamiento, infraestructura y condiciones ambientales, entre otros. No obstante, siempre que estas dificultades sean superadas, los siguientes pasos permiten,

de manera general, identificar y dar prioridad al uso de métodos de medición normalizados o reconocidos:

1. Definir para cada variable a estudiar, de manera apropiada y detallada el **mensurando**.
2. Investigar en las bases de datos de los entes de normalización (p. ej: ISO, ASTM, ICONTEC, etc.) la disponibilidad de normas técnicas que contengan métodos de medición acordes a los mensurandos por determinar en la investigación. En caso de no encontrar normas técnicas útiles, buscar métodos de medición apropiados en artículos científicos, revistas o publicaciones de entes de alto reconocimiento técnico.
3. Seleccionar y revisar los métodos susceptibles de ser utilizados y comparar con el equipamiento, infraestructura, condiciones ambientales y demás disponibles.
4. Escoger el método de medición que mejor cuente con las condiciones disponibles para su aplicación.

8.4.4 Aplicación de actividades de aseguramiento de la validez de los resultados de medición.

Para lograr confianza en los resultados de las mediciones efectuadas en cualquier campo, existen múltiples actividades que permiten demostrar dicha calidad. La norma ISO/IEC 17025:2017 en su numeral 7.7.1 sugiere el uso de varias formas de asegurar la validez de los resultados de las mediciones, aclarando que no es necesario limitarse solo a las que en dicho

documento se proponen. De dichas actividades, son más susceptibles de ser implementadas en las mediciones de los trabajos de grado las siguientes:

1. Comprobaciones funcionales del equipamiento de ensayo y de medición: para garantizar que las mediciones que se van a realizar en los trabajos de grado se puedan, en primera instancia realizar, es necesario que, de manera previa, se compruebe que el equipamiento requerido para tal fin se encuentre en buenas condiciones de operación, vigentes (p. ej: reactivos no vencidos) y metrológicamente aptos para las mediciones que se desean ejecutar. Verificar que determinado equipo de medición enciende y funciona de manera adecuada, que los reactivos a usar en la medición no se encuentren hidratados ni contaminados y que el mensurando sea cuantificable por el equipo en su rango de trabajo habitual, son ejemplos de comprobaciones funcionales del equipamiento.
2. Uso de materiales de referencia o materiales de control de calidad: esta actividad consiste en aplicar el método de medición a materiales de igual o similar naturaleza del mensurando, los cuales poseen valores definidos de las características a medir, esto con el fin de comparar el resultado obtenido con el valor teórico (de referencia) que posee dicho material y de esa forma conocer si el método de medición realmente está logrando cuantificar adecuadamente el mensurando, así como determinar si existen diferencias estadísticamente significativas que permitan demostrar si existe o no sesgo por parte del método.

3. Uso de instrumentos alternativos que han sido calibrados para obtener resultados trazables: esta actividad permite comparar los resultados de medición arrojados por un equipo que no ha sido calibrado y uno que sí cuenta con calibración. Se hace principalmente para lograr trazabilidad metrológica lateral.
4. Repetición de la medición utilizando los mismos métodos o métodos diferentes: efectuar múltiples mediciones de los fenómenos objeto de estudio permite al investigador obtener una buena cantidad de resultados del mensurando, los cuales, en últimas son una muestra que puede contener el valor verdadero de la magnitud medida. Las mediciones con muchas repeticiones (réplicas) nos permiten identificar si estas están siendo, por lo menos, cercanas entre sí o repetibles (repetibilidad), y en caso de que esto no ocurra, analizar y atacar las posibles causas que generen variabilidad (equipo de medición, usuario del equipo, reactivos, condiciones ambientales, entre otras).
5. Uso de patrones de verificación o patrones de trabajo con gráficos de control, cuando sea aplicable: este tipo de actividad de aseguramiento se emplea con mayor frecuencia en el monitoreo de variables de medición en función del tiempo. Se fundamenta en comparar los valores obtenidos en las mediciones de, por ejemplo, blancos, materiales de referencia o patrones, y también entre réplicas de medición efectuadas en cortos y largos intervalos de tiempo, plasmando estos datos en gráficos que cuentan con límites de tolerancia previamente definidos. Aparte de controlar las mediciones comparando con valores tope, este tipo de actividad permite, además, detectar tendencias en las mediciones (p. ej: desviaciones constantemente positivas o negativas en los valores medidos).

6. Comprobaciones intermedias en los equipos de medición: para garantizar que los equipos de medición a utilizar en los trabajos de grado sean metrologicamente aptos para su uso previsto, aparte de estar en buenas condiciones de funcionamiento y estar calibrados, es necesario realizar con cierta frecuencia comprobaciones en sus mediciones con patrones y/o procedimientos estándares debidamente documentados, de manera que estos se comparen con límites o errores máximos permisibles (EMP) y que corrobore que las mediciones no los sobrepasen.

7. Revisión de los resultados informados: esta actividad, aparentemente básica, permite detectar errores asociados a unidades de medición, transcripción, falta de información, entre otros, y por lo general se lleva a cabo una vez se tienen organizados y consolidados los resultados de medición en un informe o documento soporte.

9. Discusión de resultados

La revisión e identificación de las variables de estudio en los trabajos de grado permite evidenciar que los resultados encontrados obedecen principalmente a los programas de formación de pregrado, esto debido a su mayoritaria presencia en la población y por ende en el muestreo. Por otra parte, de manera global, la distribución de los trabajos de grado realizados con mediciones solo internas o solamente externas es prácticamente equitativa en todo el periodo estudiado, por lo tanto, hay una participación equilibrada entre la USCO y entes externos en la contribución a las mediciones que se realizan en los trabajos de grado.

Una característica particular y muy destacada dentro de la investigación es que pocas mediciones externas fueron efectuadas con laboratorios con reconocimiento de competencia técnica (acreditados), lo cual puede deberse al desconocimiento por parte del investigador de la importancia de lograr resultados técnicamente válidos, situación que se puede ver también desde la óptica de la no exigencia por parte de la USCO de resultados de estas características, que, si bien pueden representar un costo mayor para el investigador, permite dar mayor solidez y respaldo a sus resultados. Los costos asociados a obtener mediciones emitidas por este tipo de organismos, también puede ser un factor asociado a su poca frecuencia de uso; además, la USCO no cuenta con ningún alcance reconocido como técnicamente competente, con lo que con mayor dificultad sus estudiantes pueden lograr acceder a un servicio de estas características.

De acuerdo con la Fuente: Autores, la **Gráfica 12** y la **Gráfica 22** hay un incremento sustancial en cuanto al uso de métodos normalizados / reconocidos a lo largo del tiempo, lo cual trae beneficios para las investigaciones, ya que permiten que en ellas se obtengan resultados con métodos validados, brindando respaldo técnico de los resultados ante los ojos de otros investigadores y demás partes interesadas, así como permitir la comparabilidad de estos resultados con trabajos similares, la reproducibilidad de sus experimentos cuando sean necesarios y una posible escalabilidad a procesos productivos de mayor proporción.

Al analizar los resultados, dependiendo de si el trabajo de grado pertenece a programas de pregrado o posgrado, encontramos que, tal como se esperaba, en un nivel académico mayor sí se tiene en cuenta este tipo de métodos normalizados/reconocidos, tal como se evidencia en la **Gráfica 13**. Uso de métodos de medición normalizados o reconocidos en TG de pregrado y posgrado objetos de estudio, periodo 2015 -2019.

Las calibraciones de los instrumentos de medición deberían permitir conocer si estos son metrológicamente aptos para lograr que los errores sistemáticos de las mediciones, asociados al instrumento se encuentren dentro de especificaciones, al igual que permite conocer el valor estimado de la incertidumbre asociada a su medición y garantizar la trazabilidad del resultado al Sistema Internacional de Unidades (SI). Para que lo anterior se cumpla y sea válido, los instrumentos de medición deben ser calibrados por entes (laboratorios) que gocen de reconocimiento (acreditación) en un sistema de gestión basado en ISO/IEC 17025:2017. Teniendo en cuenta lo anterior, al examinar los trabajos de grado estudiados, en ellos se identifica que son bajos los porcentajes de trabajos que reportan el uso de laboratorios en esta condición, indistintamente del tipo de nivel de formación y pertenencia de los instrumentos de medición (USCO o externos). Algunas calibraciones reportadas en los trabajos de grado fueron

consignadas como “realizadas por el mismo investigador”, sin embargo, se logró corroborar que algunas actividades reportadas como calibraciones en realidad correspondían realmente a verificaciones, ajustes o comparaciones con equipos calibrados, mostrando desconocimiento en cuanto a lo que realmente representa dicha actividad de índole metrológico.

Con los bajos resultados de equipos calibrados en cada trabajo de grado por año, difícilmente se podrán tener resultados trazables al Sistema Internacional de Unidades. Los resultados son incluso más desconcertantes al comparar los reportes de calibración para programas de pregrado y programas de posgrado, estos últimos reportaron calibraciones en menos del 15% de los instrumentos declarados, **Gráfica 11**

En las revisiones de las mediciones externas realizadas en los trabajos de grado de pregrado y posgrado de la USCO se reconoció que estas fueron llevadas a cabo tanto con equipos de empresas de tipo público/privadas como de instituciones de educación superior; aunque teniendo mejores resultados que las mediciones internas, las mediciones externas, en su gran mayoría, fueron ejecutadas con equipos que no contaban con calibración, lo cual evidencia que probablemente haya desconocimiento por parte de dichas entidades sobre la importancia de contar con este requisito para asegurar una medición confiable, trazable metrológicamente y por ende comparable ante valores de referencia estipulados en normatividad técnica o legal vigente. Otra posible hipótesis es que a pesar de que hay conocimiento de la relevancia de tener equipos calibrados, por temas de índole presupuestal esta actividad no se esté llevando a cabo.

Respecto al empleo de patrones o materiales de referencia, tanto en la USCO como en las mediciones de trabajos de grado hechas con entes externos, así como en los niveles de formación de pregrado y posgrado, los resultados demuestran que hay una baja implementación de su uso, lo cual impide al investigador corroborar que los instrumentos de medición estén arrojando

resultados con la exactitud necesaria, ocasionando que este desconozca si existe o no un sesgo en dicha medición, lo cual en últimas repercute en los resultados, análisis y conclusiones obtenidas en la investigación al desconocer si mi instrumento realmente mide de forma adecuada. En algunas técnicas de medición, no es aplicable la calibración de un instrumento de medición (como en la medición de dureza, composición química, espectrometría), sin embargo, la trazabilidad de los resultados al Sistema Internacional de Unidades (SI) se soportar mediante el uso de materiales de referencia certificados – MRC o patrones de trabajo; en otras, además de la calibración, se requiere del uso de patrones o materiales de referencia certificados para comprobar al inicio de las mediciones, el estado de los instrumentos de medición (como en la medición de pH, determinación de la masa), la existencia de este tipo de equipamiento y que se encuentre a disposición de la comunidad universitaria, al igual que la calibración, es responsabilidad de la USCO y también requiere de recursos económicos para su consecución.

Medir es una actividad que, desde el punto de vista de la validez del resultado a obtener, no todos podemos hacer. Cuando nos referimos a medir para una investigación o para la toma de decisiones, una medición válida debe ser ejecutada por una persona a la que se le haya comprobado su competencia técnica para ejecutarla y, si bien, eso no significa tener específicamente formación de pregrado y posgrado, si debe haber una formación en la técnica de medición, conocimiento del desempeño del método, del equipo y para el análisis de los resultados, de manera que logre identificar desviaciones que invaliden los valores reportados; por esto, es vital conocer quién ejecuta las mediciones asociadas a los datos reportados. Sobre el reporte de esta información, los trabajos de grados evidencian un bajo reporte de esta, tanto en mediciones internas como externas. Si bien, para algunos trabajos de grado puede ser evidente que las mediciones fueron realizadas por sus autores, esto no se debe suponer *a priori*, puesto

que algunas mediciones utilizan equipos altamente especializados que el investigador desconoce su manejo, no está autorizado para su manipulación o simplemente no es el fin de la investigación que el investigador necesariamente efectúe la medición, sino que obtenga los resultados de esta. Independientemente de por quién se lleve a cabo la medición, es fundamental garantizar que se conozca el responsable de haberla realizado, ya que esto permite, dado el caso, conocer los pormenores de determinados resultados cuando resultan, por ejemplo, atípicos. Como podemos encontrar en documentos del Centro Español de Metrología, de la Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios y en artículos de Nature, aparte de saber qué equipo de medición utilizamos y en qué condiciones, conocer quién obtuvo dichos resultados nos permite identificar e indagar acerca de posibles características, desviaciones, entre otros, que se reflejan en los datos antes, durante y/o después de su respectivo análisis (Baker et al., 2015; Centro Español de Metrología, 2012; ILAC, 2020).

Al igual que con los resultados obtenidos respecto al análisis de la mayoría de los parámetros estudiados, el reporte de trazabilidad metrológica en los trabajos de grado es el resultante de la agrupación de 5 de los 7 parámetros cualitativos (estudiados para mediciones internas y externas) que fueron definidos en esta investigación. Los trabajos de grado reportaron, de forma general, una baja trazabilidad metrológica, indistintamente del tipo de nivel de formación y año estudiado.

Para el parámetro relacionado con las mediciones con repeticiones (réplicas), en los gráficos construidos para mediciones internas y externas se refleja que, a lo largo de todo el periodo objeto de estudio, una considerable proporción de los trabajos de grados tuvieron en cuenta este componente, el cual permite al investigador demostrar la precisión en sus resultados. Si comparamos el desempeño de esta característica entre los trabajos de pregrado y posgrado,

podemos notar que en posgrado esta es una actividad que se realiza con mayor frecuencia; algunas de las posibles razones de ello, además de la mayor educación del investigador, pueden relacionarse con el impacto de sus resultados en trabajos relacionados con grupos de investigación (Baker et al., 2015), la publicación de resultados en artículo de revistas indexadas y la posible participación en eventos como simposios o congresos, en donde la revisión por pares académicos requiere una mayor rigurosidad del tratamiento de los datos obtenidos.

De todos los parámetros definidos para la investigación, la incertidumbre de medición es el que menor implementación evidenció en los trabajos de grado. Solamente en ciertas mediciones de trabajos de grado del programa de ingeniería de petróleos se consideró el reporte de la incertidumbre de medición. Al ser una característica de medición que depende de múltiples factores (equipos calibrados, destreza del personal que mide, condiciones ambientales, entre otros) (Euramet, 2010; Gella, 2013), este parámetro solo es posible adoptarlo e implementarlo cuando se posea, de manera adecuada y técnicamente válida, de trazabilidad metrológica en las mediciones (Centro Español de Metrología, 2012).

Es importante anotar que, al no contar con herramientas y manejo adecuado de la información concerniente al aseguramiento metrológico, a la trazabilidad de los resultados al Sistema Internacional de Unidades y a la validez de los resultados, el nuevo profesional difícilmente podrá contar con fortalezas para la evaluación de la calidad de los datos que genere en investigaciones o en procesos productivos y tal como lo indica el Conpes 3957 de 2019 padecería de debilidades relacionadas con capacidades y conocimiento técnico para la ejecución de mediciones (Conpes 3957, 2019).

10. Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusiones

1. Los trabajos de grado en el periodo de estudio, pertenecen mayoritariamente a programas de pregrado (84%), los programas con participación anual de ingeniería electrónica (38%) y de petróleos (30%), publicaron la mayor proporción de tesis.

2. Se identificó que el 52% de los trabajos de grado hacen uso exclusivamente de equipos pertenecientes a la USCO, el 43% hacen uso de equipos de otras instituciones y el 6% hacen uso de ambas fuentes.

El reporte del estado de calibración de equipos es mayor en los trabajos de grado que hacen uso de equipos de otras instituciones.

El uso de métodos normalizados ha incrementado con el paso de los años y se da en mayor proporción en los trabajos de grado de posgrado (60%).

Al menos el 80% de los TG que hacen uso de equipos de la USCO y el 60% de los que hacen uso de equipos de otras instituciones, no reportan quién realiza la medición.

El porcentaje de mediciones con réplicas en TG de pregrado tiene un comportamiento similar para el uso de equipos USCO o externo. El porcentaje de mediciones con réplicas

en TG de posgrado es mayor en mediciones con equipos USCO (todas las analizadas) respecto de las realizadas con equipos externos (el 15% no cuenta con réplicas).

3. El uso de la incertidumbre de la medición en los resultados sólo fue reportado en (<10%) de los trabajos de grado, los cuales pertenecen al programa de ingeniería de petróleos.

4. Se proponen 4 estrategias aplicables durante diferentes etapas del desarrollo de las mediciones en trabajos de grado de la USCO que permitan conservar la trazabilidad metrológica y la validez de los resultados, el 50% son de índole documental y de responsabilidad del investigador, mientras el restante 50% requieren el compromiso de las directivas de la Universidad.

10.2 Recomendaciones

Conformar una red educativa de los laboratorios de la universidad, basada en la metrología y la validez de los resultados.

- Acercarse a entidades como el Instituto Nacional de Metrología de Colombia, la Universidad Nacional de Colombia y el Servicio Nacional de Aprendizaje, para recibir transferencias y experiencias de información por parte de actores nacionales del Subsistema Nacional de Calidad – SICAL (SICAL, 2021).

-
- Lograr una mayor y más actualizada formación de los alumnos y profesores en las áreas de metrología y calidad.
 - Fortalecer el manejo del Vocabulario Internacional de Metrología, de herramientas estadísticas y de manejo de información en los planes de estudio, con miras a conservar la trazabilidad de los resultados y mantener su validez.
 - Implementar metodologías de aseguramiento de la validez de los resultados en las actividades de medición en todos los niveles del proceso educativo de los futuros profesionales de la universidad en todas sus sedes.
 - La Universidad Surcolombiana debe evaluar la pertinencia de implementar, preferiblemente de manera transversal y orientada desde la alta dirección, un sistema de gestión para los laboratorios, que les permita contar con equipos calibrados a intervalos regulares y con el control de la información, tal como lo propone la NTC-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
 - Implementar la herramienta presentada en la sección 8.4.1 al inicio del desarrollo de trabajos de grado que conlleve el uso de instrumentos de medición, para llevar un inventario de instrumentos, equipos y patrones.

- Implementar dentro de la estructura de trabajos de grado, una sección de trazabilidad metrológica, tal como se presenta en la sección 8.4.2 de este documento, para el reporte de la información que permita dar sustento a la trazabilidad metrológica de los resultados de la medición.

Parte 4 – Sección de consolidado de resultados promediados entre investigadores Fuente: Autores

Medición Interr	Método normaliz ado/Re	Equipo Calibra	con Patrón o MRC	cuenta Trazabili dad	con identifica ción d	Repeticio nes de la medici	Tiene en cuenta	Medición Exteri	Lab Acredita do	Método normalizado/Rec onocido	Equipo Calibra	con Patrón o MRC	cuenta Trazabili dad	con identifica ción d	Repeticio nes de la medici	Tiene en cuenta
a Informa	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	a Informa	Falta Infor	Falta Información	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor	Falta Infor
No	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Si	No	85% a 95%	45% a 55%	5% a 15%	5% a 15%	45% a 55%	85% a 95%	5% a 15%
No	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	Si	No	85% a 95%	45% a 55%	5% a 15%	5% a 15%	5% a 15%	5% a 15%	5% a 15%
Si	75% a 85%	5% a 15%	5% a 15%	5% a 15%	5% a 15%	65% a 75%	5% a 15%	Si	Si	85% a 95%	25% a 35%	5% a 15%	5% a 15%	5% a 15%	25% a 35%	5% a 15%

-Fin del Anexo A-

B. Anexo: Listado de trabajos de grado muestreados

Item	Nombre	Programa	Año
1	Evaluación de los recursos suelo - agua en la estructuración de un plan de manejo ambiental para la sostenibilidad del centro experimental de la Universidad Surcolombiana	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2017
2	Viabilidad de un sistema de tratamiento de aguas mieles producto del beneficio del Café con base en el bioadsorbente Moringa Oleifera Lam	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2018
3	Estimación de emisiones de CO ₂ generadas en la Universidad Surcolombiana en Neiva - Huila y su esquema de compensación	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2018
4	Evaluación de un humedal artificial modificado a escala laboratorio en la remoción de cromo hexavalente, utilizando como material vegetal calathea lutea	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2018
5	Evaluación de la efectividad de la roca fosfórica en la adsorción de metales pesados (Cd, Pb y Zn) de una solución acuosa	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2018
6	Evaluación de la calidad del recurso suelo en tres coberturas vegetales eucalipto (eucaliptus grandis), sabana y zona de bosque natural	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
7	Concentración letal media CL (50-96) de las especies de peces Prochilodus madgalenae y Pimelodus grosskopfii al principio activo cyproconazole utilizado en el cultivo de café en el departamento del Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
8	Evaluación del cumplimiento normativo de los niveles de presión sonora en la comuna Seis de la ciudad de Neiva - Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019

9	Evaluación de los niveles de presión sonora en la comuna 8 de la ciudad de Neiva - Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
10	Determinación de los niveles de presión sonora en la comuna cinco "zona oriental" de la ciudad de Neiva - Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
11	Determinación de los niveles de presión sonora generados en la comuna 1 zona noroccidental en la ciudad de Neiva - Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
12	Diagnóstico de los niveles de presión sonora generados en la Comuna Dos "Zona Nororiental" en la ciudad de Neiva - Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
13	Evaluación de algunos modelos matemáticos para la estimación de la solubilidad de ciertas sustancias de interés para la industria farmacéutica y de alimentos en diferentes mezclas cosolventes	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
14	Evaluación de los tratamientos de radiación UV, ozonización y tratamiento combinado radiación UV y ozonización, en la degradación de sustancias farmacéuticas estudiadas en aguas destilada	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
15	Evaluación de los niveles del sonido en el área de influencia del corredor vial del tramo norte - terminal del sur en la ciudad de Neiva / Medina Arce, Fredy,	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
16	Caracterización de los niveles de presión sonora de las fuentes en la comuna siete de la ciudad de Neiva - Huila	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
17	Evaluación de la solubilidad de los fosfatos de la roca fosfórica a partir de tratamiento químico y biológico	Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental	2019
18	Evaluación de algunas propiedades hidrofísicas de suelos bajo diferentes condiciones de manejo y conservación	Ingeniería Agrícola	2015
19	Evaluación de operación del sistema de riego en la plantación de palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i> .) el castillo, inversiones Padornelo s.a. municipio Pueblo Viejo departamento del Magdalena Ramírez	Ingeniería Agrícola	2015
20	Diseño de una red de drenaje superficial en cultivo de palma de aceite (<i>Elaeis guineensis</i>), en la plantación Macaraquilla, Municipio de (Aracataca - Magdalena)	Ingeniería Agrícola	2015
21	Diseño e instalación de vivero de palma de aceite con modalidad de riego por goteo, municipio del Retén departamento del Magdalena	Ingeniería Agrícola	2015

22	Evaluación del rendimiento productivo del cultivo de tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.) variedad marimba F1 utilizando un sistema de riego automatizado instalado en un invernadero ubicado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Agrícola	2015
23	Diagnóstico actual de los distritos de riego del Huila y propuesta para la creación de una red de asociaciones	Ingeniería Agrícola	2015
24	Apoyo en el desarrollo de actividades Redd (reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques) del proyecto Redd Huila - corredor biológico entre los parques nacionales naturales Puracé y Cueva de los Guácharos, enmarcado en el macroproyecto nacional preparedd Magdalena	Ingeniería Agrícola	2015
25	Diagnóstico de la fertilidad de los suelos del departamento del Huila	Ingeniería Agrícola	2015
26	Análisis de compactación en suelos agrícolas aplicando sistemas de información geográfica en el Sena - Cefa Angostura	Ingeniería Agrícola	2015
27	Estudios y diseños de los colectores principales y del emisario final del sistema de alcantarillado sanitario del municipio de Aipe-Huila	Ingeniería Agrícola	2016
28	Evaluación de las buenas prácticas agrícolas en el cultivo de café en la empresa Evolución Cafetera S.A.S	Ingeniería Agrícola	2018
29	Evaluación de la fermentación alcohólica del mosto de uva Isabella (<i>Vitis Labrusca</i>)	Ingeniería Agrícola	2018
30	Evaluación de un secador mecánico estático modificado de capa profunda para café (<i>Coffee Arábica L</i>)	Ingeniería Agrícola	2019
31	Análisis del proceso de transporte de café pergamino húmedo, comparando la eficiencia entre las máquinas centrifluj y la electrobomba sumergible en la central de secado de la Cooperativa Coocentral en el municipio de Garzón - Huila	Ingeniería Agrícola	2019
32	Análisis de las propiedades mecánicas de la guadua <i>angustifolia</i> y su relación con las condiciones climáticas y propiedades fisicoquímicas del suelo	Ingeniería Agrícola	2019
33	Diseño e implementación de un centro médico virtual de trastornos del ritmo cardíaco	Ingeniería Electrónica	2015
34	Diseño e implementación de un sistema de seguridad con localización gps para automóviles en un entorno controlado y monitoreado por una aplicación de dispositivo móvil	Ingeniería Electrónica	2015
35	Diseño, implementación y monitoreo en tiempo real para el conteo de huevos, temperatura, humedad y co2 en un módulo de la avícola la Dominga S.A.S., ubicada en el municipio de Rivera - Huila	Ingeniería Electrónica	2015

36	Planta de aire comprimido controlada por plc para el laboratorio del programa Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Electrónica	2015
37	Diseño de lógica ladder y configuración de un HMI para funcionamiento de un separador de crudo trifásico horizontal	Ingeniería Electrónica	2015
38	Monitoreo y control de manera remota de un variador de velocidad en un sistema de bombas usando un modem GSM/GPRS	Ingeniería Electrónica	2015
39	Desarrollo de una aplicación móvil con s.o android para monitoreo y registro del peso y estado nutricional humano implementado en plataforma del hardware libre	Ingeniería Electrónica	2015
40	Diseño e implementación de un sistema de control computarizado en planta de cargue de agua para camiones cisterna	Ingeniería Electrónica	2015
41	Desarrollo de un controlador basado en redes neuronales para un sistema multivariable de nivel y caudal Barrera Fernández, Ana María	Ingeniería Electrónica	2015
42	Diseño e implementación de un prototipo de sistema para la medición de resistencia a tensión mecánica y deformación de cables de acero Gutiérrez Salazar, Sergio Luis	Ingeniería Electrónica	2015
43	Implementación de un sistema de monitoreo de variables fisicoquímicas para un cultivo acuapónico en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana Rojas Ramos, Cristian Camilo	Ingeniería Electrónica	2015
44	Automatización del control de llenado en los procesos de almacenamiento y dosificación del ácido sulfúrico en la empresa Quinsa Castañeda Pérez, Uberney	Ingeniería Electrónica	2015
45	Diseño e implementación de una máquina secadora de estatores para la compañía Borets International Ltda. sucursal Colombia	Ingeniería Electrónica	2015
46	Desarrollo de una aplicación móvil con s.o android para monitoreo y registro del peso y estado nutricional humano implementado en plataforma del hardware libre	Ingeniería Electrónica	2015
47	Monitoreo y control de manera remota de un variador de velocidad en un sistema de bombas usando un modem GSM/GPRS	Ingeniería Electrónica	2015
48	Planta de aire comprimido controlada por plc para el laboratorio del programa Ingeniería Electrónica de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Electrónica	2015
49	Diseño e implementación de un entrenador de plc industrial, con sus respectivas plantas de temperatura, nivel y posición, en los laboratorios del programa electrónica de la Universidad Surcolombiana Bustos, Duvan Arturo	Ingeniería Electrónica	2015

50	Sistema de telemetría y automatización para una instalación agrícola (invernadero) desarrollado mediante software libre	Ingeniería Electrónica	2015
51	Evaluación del proceso de clasificación por tamaño y color de café (coffee arábica L) en la planta trilladora de las cooperativas del Huila Cafetrilla	Ingeniería Electrónica	2016
52	Diseño e implementación de un prototipo funcional para el análisis del color y humedad, para muestras de suelos del laboratorio Labgaa de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Electrónica	2016
53	Implementación y evaluación de un sistema de medición telemétrico para un dinamómetro hidráulico	Ingeniería Electrónica	2016
54	Desarrollo de un sistema de detección y predicción de somnolencia mediante procesamiento de señales electroencefalográficas	Ingeniería Electrónica	2016
55	Diseño e implementación de un prototipo electrónico para monitoreo de parámetros fisicoquímicos en cultivo de tilapia a través de aplicación móvil	Ingeniería Electrónica	2016
56	Diseño e implementación de un sistema de vacío para la aplicación de un prototipo pick and place para el laboratorio de control de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Electrónica	2016
57	Sistema de monitoreo contra incendios por IOT para la rectificadora Álvaro Santofimio e Hijos	Ingeniería Electrónica	2017
58	Diseño e implementación de un prototipo de llenado automático de ambientadores para la empresa Asproquin	Ingeniería Electrónica	2017
59	Implementación de un PLC de código abierto con IOT y monitoreo remoto	Ingeniería Electrónica	2017
60	Diseño e implementación de sistema de pesaje a bordo para carro Fanalga G300 F25	Ingeniería Electrónica	2017
61	Diseño e implementación de un sistema de control de fotoperiodo y temperatura para evaluar los efectos que ocasionan en el ciclo reproductivo del Capaz (Pimelodus Grosskopfii)	Ingeniería Electrónica	2017
62	Control de una planta de velocidad con aplicación Móvil en HTML5 y protocolo Wifi	Ingeniería Electrónica	2017
63	Plataforma móvil para adquisición de datos meteorológicos controlada remotamente por medio de una aplicación android	Ingeniería Electrónica	2017

64	Diseño e implementación de un prototipo para el análisis remoto de variables eléctricas en sistemas fotovoltaicos de generación trifásica	Ingeniería Electrónica	2018
65	Estudio y diseño de un sistema de picocentrales hidroeléctricas con fines de abastecimiento energético regulado para el malecón ecológico en la ribera del río Las Ceibas en la ciudad de Neiva	Ingeniería Electrónica	2018
66	Diseño e implementación de un prototipo de robot de transporte de carga con control de posición a través de un sistema de visión por computador	Ingeniería Electrónica	2018
67	Diseño de un sistema de información para registro y monitoreo de tensión arterial	Ingeniería Electrónica	2018
68	Implementación de un sistema de control de oxígeno disuelto en el agua, en cultivo intensivo de tilapia a través de internet	Ingeniería Electrónica	2018
69	Prototipo de sistema de supervisión remota y control para "Generador flujo de electrones " en vehículos a gasolina	Ingeniería Electrónica	2018
70	Aplicación de la técnica de análisis de imágenes en el espectro visible para el control de la etapa de tostado de café	Ingeniería Electrónica	2018
71	Optimización de la estación meteorológica en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Electrónica	2018
72	Automatización y monitoreo de un sistema de bombeo, almacenamiento y riego de agua pluvial	Ingeniería Electrónica	2018
73	Diseño e implementación de un controlador clásico multivariable para la planta CE105MV de la Universidad Surcolombiana	Ingeniería Electrónica	2018
74	Diseño e implementación de un prototipo automatizado con PLC para oxigenación en lagos de tierra para el cultivo intenso de tilapia	Ingeniería Electrónica	2018
75	Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de radiación ultravioleta en tiempo real de bajo costo para el municipio de Neiva	Ingeniería Electrónica	2019
76	Prototipo de un sistema tarifador electrónico de consumo de agua	Ingeniería Electrónica	2019
77	Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector centro del departamento del Huila - Zona Roja	Ingeniería de Petróleos	2015
78	Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el departamento del Huila "zona centro-caracterización Popayo "	Ingeniería de Petróleos	2015

79	Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector norte y sur del departamento del Huila, zona Minus	Ingeniería de Petróleos	2016
80	Generalidades sobre el mantenimiento preventivo e inspección de tubulares de perforación y completamiento	Ingeniería de Petróleos	2015
81	Montaje y estandarización del equipo para determinación de corrosividad de productos derivados del petróleo en lámina de cobre Según la Norma ASTM D130-04	Ingeniería de Petróleos	2015
82	Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para vivero de palma de aceite (<i>elaeis guineensis</i>), municipio de Pivijay (Magdalena)	Ingeniería de Petróleos	2016
83	Diseño y construcción de un equipo para simular la migración de gas durante la cementación	Ingeniería de Petróleos	2016
84	Caracterización geomecánica de los shales de la formación Gachetá en el sur del Casanare, Cuenca de los Llanos Orientales mediante el uso de registros eléctricos convencionales	Ingeniería de Petróleos	2016
85	Formulación de un lodo de perforación 100% base aceite ambientalmente amigable mediante el uso de un aceite vegetal (Higuerilla)	Ingeniería de Petróleos	2016
86	Levantamiento estratigráfico y evaluación petrofísica de la formación Monserrate en la sección de la quebrada Itaibe	Ingeniería de Petróleos	2016
87	Aplicación y análisis de pruebas de interferencia para determinar el grado de comunicación hidráulica entre dos o más pozos en un campo de crudo pesado	Ingeniería de Petróleos	2015
88	Aplicación de la metodología TDS (Tiab's Direct Synthesis) en pruebas de presión y pruebas de caudal para pozos horizontales en yacimientos homogéneos anisotrópicos de hidrocarburos	Ingeniería de Petróleos	2016
89	Estrategia de optimización de producción mediante profundización de bombas e incremento de caída de presión en el campo La Cira	Ingeniería de Petróleos	2016
90	Diagnóstico del proceso actual y desarrollo de una metodología para el control y organización de las tuberías de producción usadas y almacenadas en el patio L.I.P.E. de las instalaciones de campo Dina de Ecopetrol s.a.	Ingeniería de Petróleos	2017
91	Prueba piloto sistema de medición hermética	Ingeniería de Petróleos	2017
92	Estudio de la salinidad en campos de producción de petróleo en el departamento del Huila en la validación del método normalizado de la norma ASTM D3230-13	Ingeniería de Petróleos	2017
93	Caracterización petrofísica de la formación pepino en el campo Orito (Orito - Putumayo) para el desarrollo a futuro de un proyecto de recuperación secundaria	Ingeniería de Petróleos	2017

94	Optimización del comportamiento de pozos de bombeo electrosumergible (BES) por control de la presión de fondo fluyente utilizando tecnologías de sensorless	Ingeniería de Petróleos	2017
95	Diseño y construcción de un equipo para simular el asentamiento de la lechada de cemento	Ingeniería de Petróleos	2017
96	Efectos de la semilla del árbol de jaboncillo (<i>Sapindus Saponaria</i>) sobre las propiedades reológicas en un lodo de perforación base agua formulado para un pozo de los Llanos Orientales	Ingeniería de Petróleos	2017
97	Desarrollo de un medidor virtual de caudal y corte de agua para pozos con bombeo electrosumergible del campo Quifa	Ingeniería de Petróleos	2017
98	Análisis y revisión del proceso de tratamiento para el mejoramiento de la calidad de crudo y agua en el campo Dina Terciarios	Ingeniería de Petróleos	2018
99	Optimización del equipo de pruebas para control de migración de gas y elaboración del manual de pruebas básicas	Ingeniería de Petróleos	2018
100	Análisis del sistema de inyección de agua, bajo la perspectiva de las facilidades disponibles en producción de la batería-PIA	Ingeniería de Petróleos	2017
101	Aplicación de microondas en el tratamiento de emulsiones en laboratorio	Ingeniería de Petróleos	2018
102	Recobro mejorado en crudos pesados	Ingeniería de Petróleos	2019
103	Optimización de la producción mediante control inteligente en pozos pcp utilizando controlador de velocidad	Ingeniería de Petróleos	2019
104	Análisis del porcentaje de remoción de TPH, utilizando ECH - encapsulador de hidrocarburos como agente biorremediador aplicado en residuos generados en tanques de crudo (borras)	Ingeniería de Petróleos	2019
105	Microtermometría de la formación caballos como roca almacén de la subcuenca de Neiva	Ingeniería de Petróleos	2019
106	Degradación termoquímica del polietileno para la obtención de hidrocarburos líquidos	Ingeniería de Petróleos	2019

-Fin del Anexo B-

Bibliografía

- Arbelaez, M. B., Alberto, J., & Vargas, M. (2008). Metrology importance inside of companys for cuality grant. *Scientia et Technica Año XIV*, 38.
- Azarpay, G. (1990). A Photogrammetric Study of Three Gudea Statues. *Journal of the American Oriental Society*, 110(4). <https://doi.org/10.2307/602894>
- Baker, M., Aarts, A. A., Anderson, J. E., Anderson, C. J., Attridge, P. R., Attwood, A., Axt, J., Babel, M., Bahník, Š., Baranski, E., Barnett-Cowan, M., Bartmess, E., Beer, J., Bell, R., Bentley, H., Beyan, L., Binion, G., Borsboom, D., Bosch, A., ... Zuni, K. (2015). Estimating the reproducibility of psychological science. *Science*, 349(6251). <https://doi.org/10.1126/science.aac4716>
- Baker, M., & Penny, D. (2016). Is there a reproducibility crisis? *Nature*, 533(7604), 452–454. <https://doi.org/10.1038/533452A>
- Birch, J. (2003). *Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society A study for the International Committee of Legal Metrology*.
- Centro Español de Metrología. (2012). Vocabulario Internacional de Metrología. In CEM (Ed.), *Centro*.
- Centro Español de Metrología. (2019). *Breve historia de la Metrología*. https://www.cem.es/sites/default/files/2021-01/breve%20historia_de%20la%20metrologia_doc.pdf
- Centro Español de Metrología. (2019). *La Metrología También Existe* (Instituto de la Ingeniería de España, Ed.; 1st ed.). Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España.
- Conpes 3957. (2019). *Política Nacional de Laboratorios - CONPES 3957*.
- Culma Caviedes, J. E. (2019). *Análisis de la articulación del diseño curricular del programa de ingeniería electrónica, en relación con los objetivos de aprendizaje asociados a metrología*.
- EAFIT. (2010). *Laboratorio de Metrología - Centro de Laboratorios - Centro de Laboratorios / Infraestructura - Universidad EAFIT*. Página Web Institucional.

<https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/infraestructura/laboratorios/Paginas/laboratorio-metrologia-disproducto-ingmecanica-produccion.aspx>

ENAC. (2015a). *Noticia ENAC - Portal ENAC*.

https://www.enac.es/web/enac/enac_cem_documento_trazabilidad_metrologica?p_p_id=MensajeCookie_WAR_Gestionportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_MensajeCookie_WAR_Gestionportlet_javax.portlet.action=aceptarTodas

ENAC. (2015b). Uso del concepto de trazabilidad metrológica por los laboratorios de calibración. *Centro Español de Metrología*.

Euramet. (2010). *Incertidumbre en Mediciones de Fuerza*.

Gella, J. (2013). Trazabilidad e Incertidumbre de la Medición en el Laboratorio Clínico.

Sociedad Española de Bioquímica Clínica. http://www.ifcc.org/media/216090/Trazabilidad_e_incertidumbre.pdf

Hebra, A. J. (2010). *The Physics of Metrology* (A. J. Hebra, Ed.; Vol. 1). Springer.

ICONTEC. (2017). *Norma técnica NTC-ISO/IEC Colombiana 17025 requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*.

Ignacio, Q. J., & Cervantes, U. (2000). *La problemática de la trazabilidad en las mediciones ambientales bajo la óptica de la NMX EC 17025 IMNC 2000*.

ILAC. (2020). Policy on Metrological Traceability of Measurement Results. In *ILAC P10:07/2020 ILAC Policy on Metrological Traceability of Measurement Results*. ILAC. <https://ilac.org/?download=123220>

ILAC. (2021). *About ILAC International Laboratory Accreditation Cooperation*. <https://ilac.org/about-ilac/>

Institución Universitaria Pascual Bravo. (2019). *Laboratorio de metrología dimensional | Institución Universitaria Pascual Bravo*. Página Web Institucional.

<https://pascualbravo.edu.co/facultades/facultad-de-ingenieria/laboratorios-facultad-ingenieria/laboratorio-metrologia-dimensional/>

International Laboratory Accreditation Cooperation. (2020). *ILAC Policy on metrological traceability of measurement results*. 1–11.

Llamosa, L., Villareal, M., Meza, L., & Gregorio, L. (2008). Educación en Metrología en la Universidad Tecnológica de Pereira- Colombia. *Simposio de Metrología 2008*, 1–7.

Mira Andreu, G. M. (2015, August). *El proceso de medir en la ciencia - Revista C2*.

<https://www.revistac2.com/el-proceso-de-medir-en-la-ciencia/>

Nieto, V. M., & Suarez, C. (2011). *Evaluación de resultados de la encuesta de demanda metrológica en la industria colombiana*.

- ONAC. (2021a). *Acredítate con ONAC - ONAC*. Sitio Web ONAC. <https://onac.org.co/acreditate-con-onac>
- ONAC. (2021b). *Directorio de Acreditación - ONAC*. <https://onac.org.co/directorio-de-acreditados>
- Oramas, A. (2018, September 6). *Importancia de la "trazabilidad metrológica."* <https://es.linkedin.com/pulse/importancia-de-la-trazabilidad-metrol%C3%B3gica-alexis-oramas-p%C3%A9rez>
- Orrego García, N. E. (2013). Desarrollo de una propuesta para la enseñanza del proceso de medida en la física en el grado octavo de educación secundaria. *Universidad Nacional de Colombia*, 47.
- Ospina Gutiérrez, L., Botero Arbeláez, M., & Mendoza Vargas, J. (2008). Importancia de la metrología al interior de las empresas para el aseguramiento de la calidad. *Scientia et Technica*, 1(38), 289–292. <https://doi.org/10.22517/23447214.3763>
- Palacios, J., Giraldo, L., & Bedoya, N. (2016). Diagnostic of metrological assurance in the plastics sector, food, construction and metal-mechanics. *Revista Gerencia Tecnológica Informática*, 15(42), 17–30.
- Peter Swann, G., Bedson, P., Braybrook, J., Bulli, S., Colley, J., Fernandez, R., Gunn, R., Lambert, R., MacCarthy, B., McLean, M., Millington, B., Nettleton, D., Smith, K., & Statham, M. (2009). *The Economics of Metrology and Measurement Report for National Measurement Office, Department for Business, Innovation and Skills*.
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt - PTB. (2018). *Experiments for the New SI*. <https://doi.org/10.7795/310.20160299en02>
- R, Luis Enrique Llamosa; C, M. F. V. (2011). The importance of the metrology as cross-cutting theme in the teaching of the basic sciences. *Scientia Et Technica*, 17(47), 158–162. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84921327050%0ACómo>
- Rainer Scharf, T. M. (2016). Cambio de paradigma en el Sistema Internacional de Unidades (SI). *Experimentos Para El Nuevo SI, El Sistema Internacional de Unidades*. <https://doi.org/310.20160299>
- Serrano Martínez, L. (1995). Indicadores de capital humano y productividad. *Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas*, 16, 1–25.
- SICAL. (2021, June). *Conócenos - Sical*. <https://sical.gov.co/index.php/conocenos/#quienes-somos>

- Univalle. (2010a). *Calidad y Metrología - CALIMET - Facultad de Salud / Universidad del Valle / Cali, Colombia*. Página Web Institucional. <https://salud.univalle.edu.co/investigacion-en-salud/estructura/centros-y-grupos-de-investigacion/16-investigacion/191>
- Univalle. (2010b). *Laboratorio de Metrología Eléctrica - GRALTA - Grupo de Investigación en Alta Tensión / Universidad del Valle / Cali, Colombia*. Página Web Institucional. <http://gralta.univalle.edu.co/index.php/laboratorios-item-gralta/metrologia-item-laboratorio>
- Univalle. (2010c). *Metrología - EIME - Escuela de Ingeniería Mecánica / Universidad del Valle / Cali, Colombia*. Página Web Institucional. <http://eime.univalle.edu.co/metrologia>
- Universidad Surcolombiana. (2017a). *Ingeniería Agrícola - Portal Universitario: Universidad Surcolombiana*. Página Web Institucional. <https://www.usco.edu.co/es/estudia-en-la-usco/programas-pregrado/facultad-de-ingenieria/ingenieria-agricola/>
- Universidad Surcolombiana. (2017b). *Ingeniería de Petróleos - Portal Universitario: Universidad Surcolombiana*. Página Web Institucional. <https://www.usco.edu.co/es/estudia-en-la-usco/programas-pregrado/facultad-de-ingenieria/ingenieria-de-petroleos/>
- Universidad Surcolombiana. (2017c). *Ingeniería Electrónica - Portal Universitario: Universidad Surcolombiana*. Página Web Institucional. <https://www.usco.edu.co/es/estudia-en-la-usco/programas-pregrado/facultad-de-ingenieria/ingenieria-electronica/>
- Universidad Surcolombiana. (2017d). *Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental - Portal Universitario: Universidad Surcolombiana*. Página Web Institucional. <https://www.usco.edu.co/es/estudia-en-la-usco/programas-postgrado/facultad-de-ingenieria/maestria-en-ingenieria-y-gestion-ambiental/>
- Universidad Surcolombiana. (2018). *Maestría en Ingeniería de Petróleos - Portal Universitario: Universidad Surcolombiana*. Página Web Institucional. <https://www.usco.edu.co/es/estudia-en-la-usco/programas-postgrado/facultad-de-ingenieria/maestria-en-ingenieria-de-petroleos/>
- Universidad Surcolombiana. (2019). *Acuerdo 047 de 2019.pdf* (p. 20).
- Vera, D., Lopez Ponçano, M., Carlos, I., Porras, E., subdirector, P., César, I., & Parra Greco, A. (2012). *Memorias del Congreso Internacional de Metrología en Colombia*. www.inm.gov.co