

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE FÍSICA

Tesis para optar por el grado de Licenciatura en Meteorología

**Propuesta metodológica para la implementación de un Sistema
de Gestión de Calidad de la Red Pluviométrica del Instituto
Meteorológico Nacional, asentada en la Región Central de
Costa Rica**

Autor: B.Sc. Francela Tencio Ávila

Director de Tesis: Ph.D. Jorge Gutiérrez Camacho

Lectores: M.Sc. Martha Eugenia Pereira Molina

Ph.D. Erick Rivera Fernández

2022

Esta Tesis fue aprobada por el Tribunal Examinador



Dr. Jorge Gutiérrez Camacho
Director del Comité Asesor



Msc. Martha Eugenia Pereira Molina
Integrante del Comité Asesor



Dr. Erick Rivera Fernández
Integrante del Comité Asesor



Dr. Marcial Garbanzo Salas
Representante de la Dirección de la Unidad Académica



Dr. Hugo Hidalgo León
Docente designado por la Dirección

Agradecimientos

A mi familia, ya que suponen los cimientos de mi desarrollo, me han brindado aportes invaluable y me han apoyado en todo lo que hago, gracias por brindarme mucha felicidad.

A mis mejores amigos, que han estado presentes en toda en mi carrera profesional, mi mano derecha.

A mi jefatura, no podría sentirme más amina, con la confianza puesta sobre mi persona y contar con su mejor apoyo en todo momento.

Y, por último, y no menos importante, a mi director de Tesis, mi inspiración, un ejemplo a seguir, quién lleno de sabiduría, me ha ayudado llegar hasta aquí.

Dedicatoria

Dedico mi trabajo de Graduación a mi abuelo Pablo y a mis abuelas, que, aunque ellas no se encuentran hoy con nosotros, han sido mi ejemplo de superación, mi orgullo y mi gran motivación para superarme día con día.

A mi papá y a mi mamá, muchos de mis logros se los debo a ellos, incluido este, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos y cumplir mis objetivos que significan alegría y orgullo para mí y para ellos también.

Resumen

En el presente proyecto, se describe a partir del análisis de datos de precipitación diaria, visitas de campo a los puntos de observación y evaluación de procesos asociados a la gestión de datos meteorológicos, los lineamientos, pasos y buenas prácticas para la generación y el almacenamiento de la información meteorológica mediante la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad (SGC). Este trabajo centra su atención en el aseguramiento y control de calidad, de las mediciones de lluvia de la Red Meteorológica Nacional del Instituto Meteorológica Nacional (IMN). La cobertura geográfica de las estaciones meteorológicas en estudio, incluye las estaciones convencionales y automáticas de la Región Central de Costa Rica, con registro de mediciones de al menos 20 años, para el periodo comprendido entre 1 de enero de 1999 al 31 de diciembre de 2019.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), establece en el año 2017, que un SGC es una herramienta de gestión que consiste en un conjunto de normas (procedimientos) que una organización decide aplicar para lograr sus objetivos referentes a la calidad. Los resultados evidencian que si bien en el (IMN), actualmente se realizan pruebas de validación de datos y controles de calidad en el lugar de emplazamiento de una estación meteorológica, que se apegan a las normas internacionales recomendadas por la OMM, el sistema utilizado hasta el momento requiere mejorar la planificación y ejecución de los procedimientos a realizar durante estos controles. Además, se deben fortalecer y/o crear métodos de detección de resultados atípicos orientados a la consistencia y confiabilidad de las mediciones.

Por lo que esta investigación propone una serie de procesos que aseguran de la manera más eficiente posible la gestión de datos precipitación (instalación y mantenimiento de los pluviómetros, obtención de los datos, modelos de metadatos. control de calidad, almacenamiento y su uso por parte del usuario).

Su implementación permite convertir al Sistema de Gestión de Calidad en una herramienta de mitigación de riesgos, al identificar inconsistencias y los riesgos inherentes asociados al sensor/instrumento de medición de lluvia, así como, en los

elementos relacionados a la validación de las mediciones, permitiendo la resolución de problemas, establecimiento de medidas de alerta temprana y procedimientos de mejora continua para ofrecer servicios meteorológicos y climáticos de calidad.

Palabras claves: Sistema de Gestión de Calidad, precipitación, estaciones meteorológicas, control de calidad, pruebas de validación, visitas de campo, riesgo, auditoría interna.

Tabla de contenido

Introducción.....	1
CAPÍTULO I	2
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Antecedentes	3
1.2. El problema y objeto de investigación	5
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos	7
1.4.1. Objetivo general	7
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Diseño metodológico de la investigación	8
1.5.1. Pregunta de investigación	8
1.5.2. Tipo de investigación	8
1.5.3. Descripción del área de estudio	9
1.5.4. Sujeto de información y muestra de estudio	10
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Precipitación.....	17
2.2. Emplazamiento y exposición de equipo meteorológico.....	17
2.2.1. Estación meteorológica convencional	20
2.2.2. Estación meteorológica automática	21
2.3. Gestión de datos	23
2.3.1. Metadatos y documentación.....	24
2.3.2. Aseguramiento y control de la calidad	27
CAPÍTULO III	32
ANÁLISIS DE RESULTADOS	32
3.1. Estaciones meteorológicas seleccionadas	33
3.2. Reconocimiento de fenómenos y eventos atmosféricos Gestión de datos .	38
3.3. Registro de Metadatos.....	44
3.3.1. Metadatos relacionados a las estaciones meteorológicas en estudio .	44
3.3.2. Metadatos relacionados al proceso y tratamiento de datos	50
3.4. Determinación de herramientas y control de calidad	60
3.5. Visitas de campo	66
3.5.1. Resultados obtenidos durante las visitas de campo.....	66
3.6. Análisis de datos.....	78
3.6.1. Agrupamiento y correlación de EM	81
3.6.2. Estudio de las medidas diarias.....	85
3.7. Categorización de las estaciones meteorológicas	95
CAPÍTULO IV	96
PROPUESTA SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD	96
4.1. Instalación de pluviómetros.....	100
4.2. Niveles de Calidad	102
4.3. Operatividad de los niveles de calidad	112

4.4. Abanderamiento	114
4.5. Diseño de sistema de validación	115
4.6. Modelo de metadatos.....	121
4.7. Auditoría.....	124
4.8. Categorización de las estaciones meteorológicas y matriz de riesgos	125
4.9. Documentación	136
CAPITULO V	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	139
5.1. Conclusiones.....	140
5.2. Recomendaciones	142
Bibliografía	145
ANEXOS	149
ANEXO 1. Formulario entrevista Área Red Meteorológica.	150
ANEXO 2. Formulario entrevista Área Gestión de Datos.....	152
ANEXO 3. Formulario de inspección del punto de observación: Pluviómetro Estación Meteorológica Convencional.....	154
ANEXO 4. Formulario de inspección del punto de observación: Pluviómetro Estación Meteorológica Automática.....	157
ANEXO 5. MET1.....	160
ANEXO 6. MET3.....	161
ANEXO 7. Fotografías de las visitas de campo.....	162
ANEXO 8. Control de riesgos.....	166

Índice de Tablas

Tabla 1. Estaciones meteorológicas de la Región Central para el periodo 1999-2019.	33
Tabla 2. Clasificación de las estaciones meteorológicas por subregión.....	34
Tabla 3. Régimen de precipitación de la Vertiente del Pacífico y de la Vertiente del Caribe.	38
Tabla 4. El Niño y la Niña 1999-2019.	39
Tabla 5. Fenómenos y eventos meteorológicos más relevantes entre el periodo 1999-2019.	41
Tabla 6. Metadatos relacionados a la Red Meteorológica Región Central 1999-2019.	45
Tabla 7. Metadatos relacionados a datos geográficos Región Central 1999-2019....	46
Tabla 8. Metadatos relacionados a los sensores de precipitación utilizados en la Red Pluviométrica Región Central 1999-2019.	48
Tabla 9. Metadatos relacionados a los equipos, sensores e instrumentos de medición de la Red Pluviométrica Región Central 1999-2019.	48
Tabla 10. Rangos por variables programados.	63
Tabla 11. Visitas Estaciones Meteorológicas.	66
Tabla 12. Información de ocupación de los observadores meteorológicos.....	72

Tabla 13. Metadatos programa de observación de estaciones meteorológicas convencionales.	73
Tabla 14. Estaciones meteorológicas consideradas para minimizar la obtención de datos sospechosos.	76
Tabla 15. Datos sospechosos generados a partir del estudio de los promedios y extremos mensuales en el periodo 1999-2019.	79
Tabla 16. Climatología diaria de precipitación en mm de la Región Central 1999-2019.	86
Tabla 17. Estaciones Meteorológicas que presentan anomalías.	86
Tabla 18. Datos diarios sospechosos encontrados durante el análisis.	87
Tabla 19. Ejemplo estadísticos EM 84125 Finca 3, Llano Grande.	89
Tabla 20. Ejemplo información generada EM 84125 Finca 3, Llano Grande para las pruebas de validación.	90
Tabla 21. Promedio mensual de precipitación 1999-2019.	110
Tabla 22. Abanderamiento del estado de los datos según origen.	114
Tabla 23. Abanderamiento fase de validación.	114
Tabla 24. Límite superior de precipitación diaria por subregión Región Central.	116
Tabla 25. Límite superior mensual de precipitación diaria por subregión Región Central.	117
Tabla 26. Rango mensual de precipitación.	118
Tabla 27. Modelo de metadatos.	122
Tabla 28. Cronograma anual de auditorías internas DRMPD.	124
Tabla 29. Calificación de la probabilidad.	127
Tabla 30. Calificación del impacto.	128
Tabla 31. Tipos de riesgos IMN.	130
Tabla 32. Ejemplo de riesgos inherentes EM 73035 Navarro, Cartago.	131
Tabla 33. Categorización de las estaciones meteorológicas.	134

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de Costa Rica en donde se muestra la Región Central.	10
Figura 2. Pluviómetro mecánico o convencional.	19
Figura 3. Formas de pluviómetros convencionales.	20
Figura 4. Tipos de pluviómetros automáticos.	21
Figura 5. Pluviómetro automático.	23
Figura 6. Documentación del sistema de gestión de datos.	25
Figura 7. Metadatos importantes de acuerdo con el tipo de estación meteorológica.	26
Figura 8. Niveles de aplicación de los procedimientos de control de calidad.	29
Figura 9. Subregiones de la Región Central.	37
Figura 10. Ejemplos de Gráficas Generadas por RMetCC y MeteoQC.	62
Figura 11. Ejemplo gráfico de precipitación diaria generado por MeteoQC.	65
Figura 12. Pluviómetro Linda Vista, El Guarco 73018.	68

Figura 13. Probeta pluviómetro San Juan de Chicué 73117.....	69
Figura 14. Ubicación pluviómetro RECOPE, Ochomogo 73129.	70
Figura 15. Instalación pluviómetro Guachipelín, Santa Ana 84119.....	71
Figura 16. Pluviómetro EMM 73115, antes del corte de la vegetación.	77
Figura 17. Pluviómetro EMM 73115, después del corte de la vegetación.....	77
Figura 18. Ciclo anual de la precipitación de la Región Central.....	82
Figura 19. Clasificación Región Central.....	83
Figura 20. Clasificación de las EM de la Región Central Este.....	84
Figura 21. Clasificación de las EM de la Región Central Oeste.....	84
Figura 22. Clasificación de las EM de la Región Central Central.....	85
Figura 23. Precipitación diaria 73024.	91
Figura 24. Precipitación diaria 84159.	92
Figura 25. Representación de caja de bigotes de precipitación diaria mensual 73018.	93
Figura 26. Representación de caja de bigotes de precipitación diaria mensual 84010.	94
Figura 27. Aristas de la Gestión de Calidad.	97
Figura 28. Conceptos relacionados con El Sistema de Gestión de Calidad.	98
Figura 29. Diagrama de flujo de la instalación de pluviómetros.	101
Figura 30. Propuesta niveles de calidad.	103
Figura 31. Rol de trabajo para la implementación de los niveles de calidad.	103
Figura 32. Procedimientos control de calidad nivel 1.	107
Figura 33. Metadatos a consideración en el control de calidad nivel 1.	109
Figura 34. Eventos y Fenómenos Atmosféricos Año 2008.	112
Figura 35. Esquema de trabajo operativo para la implementación de los niveles de calidad.....	113
Figura 36. Matriz de riesgo propuesta.....	126
Figura 37. Valores de los riesgos en la matriz propuesta.....	128
Figura 38. Matriz de riesgo EM 73035 Navarro, Cartago.	132
Figura 39. Reporte Giras de Campo.....	138

Lista de abreviaturas

BD	Base de Datos
CC	Control de Calidad
EM	Estación Meteorológica
EMM	Estación Meteorológica Mecánica
EMA	Estación Meteorológica Automática
ENOS	El Niño Oscilación del Sur
GDM	Gestión de Datos Meteorológicos
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
ISO	Organización Internacional de Normalización
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONI	Índice Niño Oceánico
PD	Procesamiento de Datos
PGDM	Personal Gestión de Datos Meteorológicos
PG	Pluviógrafo
PV	Pluviómetro
PRM	Personal Red Meteorológica
RM	Red Meteorológica
SGC	Sistema Gestión de Calidad
SMHN	Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales
WCDMP	Programa Mundial de Datos y Monitoreo del Clima

Introducción

La investigación actual se desarrolla gracias a los servicios meteorológicos y climáticos brindados por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), y su objetivo principal es diseñar e implementar una metodología basada en la Gestión de Calidad que permita la identificación de inconsistencias y garantizar el aseguramiento y el control de calidad de las mediciones de precipitación en la Región Central del territorio nacional, lo cual mejoraría los servicios ofrecidos por la Institución.

En el marco de la Gestión de Datos, la *Propuesta metodológica para la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad de la Red Pluviométrica del Instituto Meteorológico Nacional, asentada en la Región Central de Costa Rica*, es una iniciativa que permitirá avalar y ofrecer mediciones óptimas, una herramienta que incentive la documentación, como medio de información a los usuarios mediante el registro de los resultados de los procesos de control de calidad y procedimientos empleados para la generación de los datos.

De acuerdo con el Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad N°1238 de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2019), el disponer de datos de calidad facilita su desarrollo e intercambio a nivel nacional, regional y mundial.

En el siguiente capítulo se describe el diseño metodológico; en el capítulo III se presentan los resultados y su respectivo análisis. De forma continua, en la sección IV se expone la Propuesta del Sistema de Gestión de Calidad y, por último, en el capítulo V se muestran las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

A finales del siglo XIII durante la Edad Media en Europa, la gestión de calidad se convierte en una incertidumbre para los artesanos y es ahí donde nace la idea de agruparse en gremios y garantizar la calidad de los productos. A inicios del siglo XIX mediante la Revolución Industrial, se continúa el modelo implementado en la era medieval por el gremio de los artesanos, con el fin de establecer estándares para el control de los productos y asegurar la calidad (OMM, 2013).

Cubillos Rodríguez & Rozo Rodríguez (2009) indican que una de las etapas básicas en la historia del concepto de calidad es la de Control Estadístico. El interés por mantener la calidad ya no solo se basa en la inspección, sino también en un control estadístico que se ve beneficiado por los avances tecnológicos de la época. La investigación en métodos estadísticos aplicados al control de calidad se convirtió en tema de mayor relevancia. Según la Guía OMM-N°1100 (OMM, 2013), en 1920 el estadístico Walter Shewhart reconoció que se podían utilizar técnicas estadísticas para indagar si un proceso ofrecía un resultado que garantizara la calidad esperada. Años más tarde William Edwards Deming, también estadístico, defendió las propuestas de Shewhart expandiendo sus ideas a Japón y los Estados Unidos. Por otra parte, Torres (2012) manifiesta que en 1946 se fundó la Sociedad Americana para el Control de Calidad (ASQC, en inglés), como resultado de la unión de sociedades locales de control de calidad en Estados Unidos, con el fin de brindar información de control estadístico de la calidad, luego de los avances obtenidos durante la II Guerra Mundial. Asimismo, en 1946, miembros de 25 países se reúnen en Londres y establecen la creación de una organización internacional para la coordinación internacional de estándares industriales. Es así como nace la Organización Internacional de Normalización (ISO, en inglés), que a su vez facilita el origen de las normas ISO 9000, las cuales fueron derivadas de la norma militar BS 5750.

Tal como se menciona en el sitio web de ISO (<https://www.iso.org/about-us.html>) los estándares internacionales hacen que las cosas funcionen y proporcionan especificaciones de clase mundial para los productos, servicios y sistemas y garantizan

la calidad, seguridad y eficiencia. En cuanto a la aplicación de las normas ISO en el campo de la meteorología, se ha considerado el estándar ISO 9001:2008 (Sistemas de gestión de Calidad: Requisitos) como la norma recomendada para alcanzar niveles de calidad internacionalmente reconocidas en cuanto a la terminología, vocabulario, definiciones e información básica sobre sistemas de gestión de calidad (OMM, 2013), la cual concuerda con ISO 9000:2005 (Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario).

Siguiendo el contexto de la aplicación de un sistema de gestión de calidad en el área meteorológica, la gestión de la calidad se empieza a implementar en los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) como condición necesaria para ofrecer productos y servicios (OMM, 2013), por ejemplo, en el área de la Aeronáutica, dado los requisitos que exige la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), los SMHN deben garantizar la calidad de los datos brindados ya que dicha institución que reconoce a la meteorología como un campo vital para la navegación aérea internacional.

Por su parte, la OMM abordó por primera vez el tema de la gestión de la calidad en mayo de 2003, en el marco del Decimocuarto Congreso Meteorológico Mundial. En dicho congreso se aprobó la Resolución 27 (Cg-XIV), que establece la elaboración de un Marco de Gestión de la Calidad para los SMHN, que incluye el estudio de los siguientes elementos en las distintas etapas: a) normas técnicas de la OMM, b) sistemas de gestión de la calidad que incorpora en el control de la calidad y c) procedimientos de certificación (OMM, 2013).

La calidad de los datos meteorológicos en Costa Rica ha sido objeto de pocos estudios, tal es el caso de Araya (2007). Este autor, en su tesis de licenciatura, desarrolla algoritmos de control de calidad de datos en estaciones meteorológicas automáticas. Al respecto, Alfaro y Araya (2009) ponen a prueba tres algoritmos de control de calidad de datos para precipitación, con el fin de sugerir metodologías alternativas para detección de posibles valores atípicos generados por pluviómetros de balancín en condiciones operativas. En este estudio se señala que es necesario conocer el

tiempo entre contactos consecutivos (debe ser calculado) y que es posible utilizar los algoritmos propuestos en tiempo real para detectar situaciones de obstrucción en el pluviómetro.

Alfaro y Araya (2008) presentan una metodología para el cálculo de rangos de temperatura, así como algoritmos de programación simple para la detección de errores obvios en datos meteorológicos. Mediante este estudio, demostraron que las pruebas implementadas pueden ser utilizadas en las estaciones meteorológicas automáticas (EMA) y en tiempo real. Además, constituyen una herramienta sistemática para la detección de anomalías en los datos de temperatura desde la perspectiva física y estadística y aunque no garantizan por sí mismas un mejoramiento de la calidad, sí son útiles para determinar la calidad de las mediciones y mejorarlas en forma integral.

En otro trabajo elaborado por Araya (2011) se presenta una metodología de control de calidad para volúmenes grandes de datos horarios de precipitación, irradiancia, velocidad y dirección de viento, lo cual es útil para las actividades operativas en un SMHN.

1.2. El problema y objeto de investigación

¿Cuáles son los procesos necesarios que debe de tener el Sistema de Gestión de la Calidad del dato en el IMN, para cumplir con las normas internacionales y satisfacer las necesidades de los distintos sectores del país?

1.3. Justificación

Si bien en el IMN actualmente se realizan pruebas de validación de datos y controles de calidad en el lugar de emplazamiento de una estación meteorológica, que se apegan a las normas internacionales recomendadas por la OMM, el sistema utilizado hasta el momento requiere mejorar la planificación y ejecución de los procedimientos a realizar durante estos controles. Además, se deben fortalecer y/o crear métodos de detección de resultados atípicos orientados a la consistencia y confiabilidad de las mediciones.

Dado lo anterior y con el fin de complementar dichos esfuerzos, esta investigación propone lineamientos dentro del control de calidad, que son de vital importancia en el proceso de flujo de datos. El estudio centra su atención en el aseguramiento y control de calidad, específicamente en la Región Central de Costa Rica, concretamente en la variable de precipitación, debido a que es un parámetro meteorológico indispensable en la generación de pronósticos a corto, mediano y largo plazo, investigaciones científicas, estudios climáticos, entre otros. Asimismo, está sujeta a la variabilidad climática y es muy susceptible a las condiciones circundantes, lugar de emplazamiento y otros factores que de alguna manera pueden incidir en la calidad de la medición.

El alcance de un Sistema de Gestión de Calidad enfocado en una Red Pluviométrica reside en proporcionar, de manera sólida bajo el mismo marco, una serie de procesos que aseguran de la manera más eficiente posible la gestión de datos de lluvia (instalación y mantenimiento de los pluviómetros, obtención de los datos, control de calidad, almacenamiento y su uso por parte del usuario).

Su implementación permite convertir al Sistema de Gestión de Calidad en una herramienta de mitigación de riesgos al identificar inconsistencias y los riesgos inherentes asociados al sensor/instrumento de medición de lluvia, así como en los elementos relacionados a la validación de las mediciones permitiendo la resolución de problemas y establecimiento de medidas de alerta temprana y procedimientos de mejora continua para impedir que se vuelvan a repetir los mismos errores en la gestión de datos, ya que una medición realizada con un pluviómetro inadecuado, mal instalado, sin mantenimiento o sin control de calidad entre otros, no representa el dato real.

Los datos de precipitación resultan un insumo importante para la generación de información climática, pronósticos del tiempo o avisos meteorológicos que, al no ser regulados y estandarizados mediante medidas y niveles de calidad, producen insatisfacción al usuario final. Por ende, una vez implementado un Sistema de Gestión de Calidad se logran optimizar los productos y servicios meteorológicos que brinda la

institución mejorando la capacidad de respuesta ante las necesidades de la persona usuaria.

A nivel meteorológico, un Sistema de Gestión de Calidad alcanza su relevancia cuando se evidencian las buenas prácticas mediante la creación y documentación de robustos procesos en función de la calidad de los datos de precipitación que, a nivel país representan un producto con valor agregado, influyen en la toma de decisiones, particularmente porque la Región Central no tiene el mismo comportamiento climatológicamente hablando sobre toda su extensión y, dependiendo de la zona a tratar, presenta su propio régimen lluvioso con distribución espacial y temporal particular. Esto se debe a factores como el relieve, procesos de interacción océano-atmósfera, entre otros (IMN,2008).

Una vez establecidas las acciones a seguir, se pretende maximizar la calidad de la observación, así como asegurar la adecuada verificación de los datos meteorológicos, con el fin de que el IMN adopte esta propuesta metodológica para el Sistema de Gestión de la Calidad, como estrategia en el desarrollo de sus objetivos y satisfacción de necesidades, la cual pueda ser replicada en otras regiones del país.

Asimismo, se enfatiza la necesidad de indagar en temas relacionados con el control de calidad de datos meteorológicos, dado que en Costa Rica existe poca investigación al respecto. Entre algunos de los estudios afines al tema, se encuentran las investigaciones de Araya (2007) y Alfaro y Araya (2009), cuyo fin fue el de realizar un control de calidad más eficiente y sistematizada de los datos generados por las estaciones meteorológicas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un Sistema de Gestión de Calidad del dato meteorológico siguiendo la normativa de la OMM, para la observación, registro, validación y almacenamiento de la variable precipitación en la Región Central de Costa Rica, a fin de maximizar la calidad de la información, por medio de herramientas sistematizadas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la representatividad de los datos de precipitación registrados en la Región Central, para un periodo de 20 años, mediante el análisis de inconsistencias encontradas y la identificación de los riesgos inherentes a los datos meteorológicos, según el punto de observación y procesamiento de las mediciones.
- Determinar los metadatos necesarios que garanticen la calidad del dato, mediante el análisis de los metadatos disponibles para las estaciones meteorológicas elegidas para el estudio.
- Implementar pruebas de validación del control de calidad del dato para la Región Central del país, mediante el uso de algoritmos matemáticos y umbrales.

1.5. Diseño metodológico de la investigación

1.5.1. Pregunta de investigación

¿Cuáles son los procesos necesarios que debe de tener el Sistema de Gestión de la Calidad del dato del IMN, para cumplir con las normas internacionales e incrementar la satisfacción de las necesidades de los distintos sectores del país?

De manera paralela se formula lo siguiente:

¿Cuáles deben ser las normas o innovaciones a considerar en el ámbito de calidad que debe contener la propuesta metodológica, como medida de prevención de riesgos asociados a las mediciones y generar así, un nivel de mayor confianza en los datos de lluvia en la región Central de Costa Rica?

1.5.2. Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es mixto; es decir, combina los métodos cuantitativos y cualitativos en el mismo estudio (Hernández, 2014). Se basó en el análisis de datos

de precipitación diaria de 26 estaciones meteorológicas asentadas en la Región Central y su relación con los metadatos, con las prácticas asociadas al mantenimiento de los equipos y procesamiento de datos, así como con el impacto de fenómenos y eventos atmosféricos.

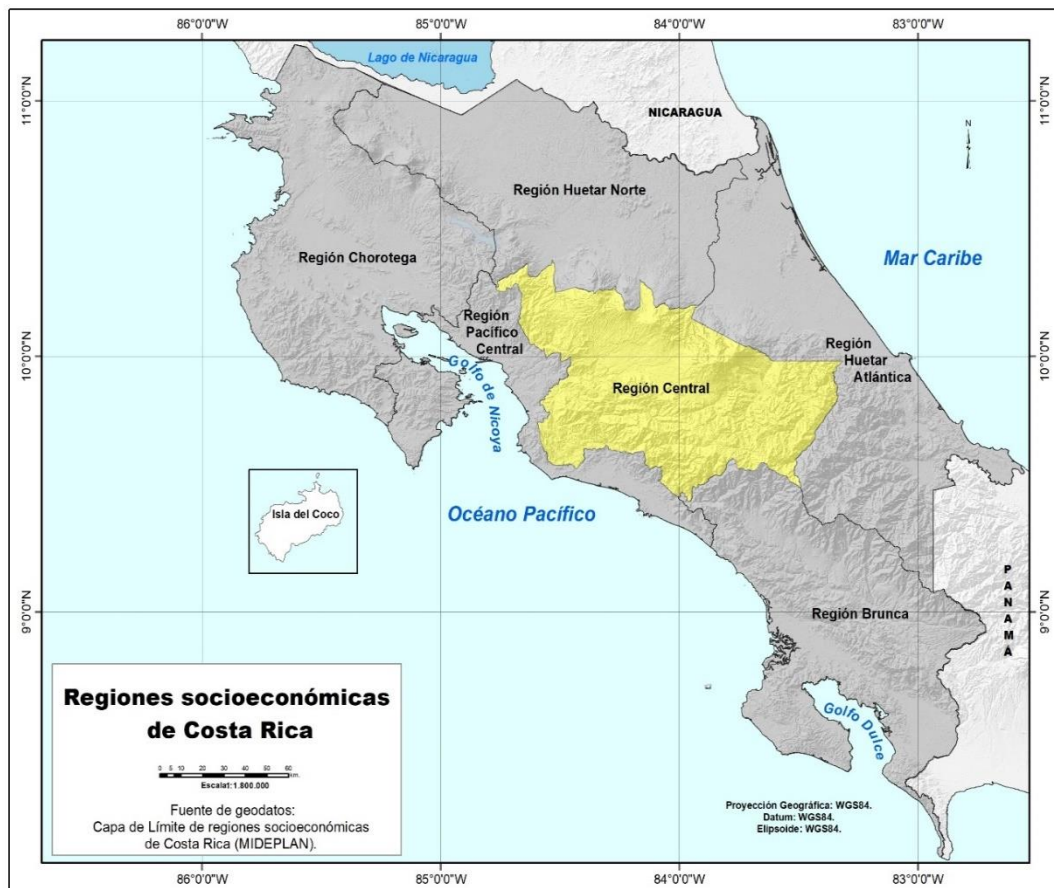
1.5.3. Descripción del área de estudio

El área de estudio de la presente investigación se ubica en la Región Central de Costa Rica, la cual ocupa la parte central del país, abarcando el Valle Central y sus áreas circundantes. Comprende la provincia de Cartago y parte de San José, Alajuela y Heredia. Esta región puede ser apreciada en color amarillo en la Figura 1.

La región de interés es influenciada por las condiciones atmosféricas de la Vertiente del Pacífico y la Vertiente del Caribe. Su ubicación geográfica y el efecto de los regímenes de precipitación de ambas vertientes, propician varios tipos de clima como lo son: climas de las faldas del Caribe, clima de las faldas del Pacífico, áreas en donde se reduce el período seco a un mes, y pequeñas áreas de clima templado (Solano & Villalobos, s.f.).

Además, el comportamiento de la precipitación durante los escenarios lluviosos, a causa de fenómenos meteorológicos particulares y un ciclo anual de precipitación influenciado por la Vertiente del Pacífico o del Caribe, provoca que algunas zonas de la Región Central muestren una marcada diferencia en el mes de noviembre, pero sobre todo durante el mes de diciembre (IMN,2008).

Figura 1. Mapa de Costa Rica en donde se muestra la Región Central.



Fuente: Instituto Meteorológico Nacional con fuente de geodatos del Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN).

1.5.4. Sujeto de información y muestra de estudio

La cantidad de datos representa una muestra del total de información disponible en la base de datos Institucional. Se tomaron en consideración 26 estaciones meteorológicas, donde se destaca el uso de estaciones tanto de tipo automático como convencional.

A continuación, las fases que se desarrollaron durante el estudio.

Primera fase

- Identificación de estaciones meteorológicas (EM)

Como primer paso, se identifica las EM pertenecientes a la Red Meteorológica del IMN, que se encuentran ubicadas en la Región Central y posteriormente se hace un reconocimiento de aquellos puntos de observación que poseen registros de precipitación.

La elección de las EM se concentra en estaciones que se encuentran activas y su selección toma en consideración un periodo de al menos 20 años de pertenecer a la Red de observación.

En el capítulo III, en la sección *Estaciones meteorológicas seleccionadas*, se presenta por medio de la Tabla 1, el detalle del conjunto de estaciones meteorológicas utilizadas en esta investigación.

De acuerdo con los criterios de elección descritos anteriormente, y disponibilidad de información, se clasifican las EM por subregión geográfica en Este, Central y Oeste. Esta clasificación obedece a una categorización climática y la inmersión de dos valles: El Valle Central Oriental y el Valle Central Occidental.

A nivel climático según Solano y Villalobos (2001) la Región Central de Costa Rica es afectada por condiciones meteorológicas del Pacífico y el Caribe, la ubicación geográfica y la presencia de los valles. Todos estos aspectos favorecen la presencia de varios microclimas que son relevantes para la clasificación propuesta.

Una vez elegidas las EM, se verifica el periodo de datos disponibles para cada EM y se determina el periodo de estudio, eligiendo extensión temporal entre los años 1999 y 2019.

- Reconocimiento de fenómenos y eventos atmosféricos

Con el fin de alcanzar una mayor comprensión de los factores que afectan climatológicamente a la Región Central, se investiga y analiza el régimen de precipitación anual, dadas sus características particulares de distribución espacial y temporal.

Además, se identifican los años donde se presenta El Niño y La Niña, como fenómenos de variabilidad climática que causan variaciones en los patrones de lluvia, mediante el análisis del Índice Oceánico del Niño (ONI).

También se contempla la presencia de ciclones tropicales y sus efectos en el país durante los años 1999-2019, así como los eventos hidrometeorológicos, sistemas de baja presión, presencia de la Zona de Convergencia Intertropical, entre otros.

Y como último punto de esta etapa, se analiza la influencia de los frentes fríos y empujes frío en la Región Central, por medio de la incidencia de la temporada de frentes fríos.

Segunda fase

- Registro de metadatos de la estación meteorológica

En esta etapa se investiga y examina el metadato básico disponible por cada EM; al mismo tiempo, se examina el historial de datos almacenado en la base de datos (BD) para cada punto de observación.

- Registro de metadatos sobre proceso y tratamiento de datos

Se analizan los algoritmos de programación, el método de toma de datos y el programa de medición/observación que es utilizado en el área de la Red Meteorológica (RM) del Departamento Red Meteorológica y Procesamiento de Datos (DRMPD), perteneciente al IMN.

Del mismo modo, se programan e inspeccionan los puntos de emplazamiento y, de manera paralela, se realiza un cuestionario al personal del Departamento Red Meteorológica y Procesamiento de Datos del IMN. Dicho instrumento tiene como objetivo recopilar información en relación con la forma de trabajo, conocer los errores más frecuentes en la toma de las mediciones y en la validación de los datos y estudiar los procedimientos efectuados en cada una de las actividades como mecanismo de mejora y estandarización de procesos (ver Anexos 1 y 2).

- Determinación de herramientas y control de calidad

Se indaga con mayor detalle sobre los procedimientos y herramientas empleadas actualmente durante el procesamiento y control de calidad de los datos meteorológicos y se determinaron los indicadores y parámetros utilizados en el control de calidad.

- Realización de visitas de campo

Se crearon dos instrumentos tipo formulario, uno dirigido a las estaciones meteorológicas mecánicas y otro a las estaciones meteorológicas automáticas, con el fin de evidenciar toda la información recopilada durante las visitas de campo a cada una de las estaciones meteorológicas (Anexos 3 y 4).

Se visitan los puntos de emplazamiento para la evaluación de las características físicas del instrumento, así como su funcionamiento.

Durante la inspección también se verifican las condiciones del entorno alrededor del pluviómetro, como parte de los metadatos relacionados con el emplazamiento y exposición.

- Estudio de series de datos

Para el estudio de los datos, como primer paso se encuentra la descarga de las series de datos diarios de precipitación, correspondiente a 20 años por cada EM.

Para un mejor análisis y una forma adecuada de relacionar la información, se agrupan las EM por subregión, tal y como se indica en la primera fase, según los metadatos geográficos y características topográficas.

Se calcula un factor de correlación lineal entre EM de cada subgrupo, para la determinación de similitudes, representatividad espacial y temporal de la lluvia.

Para dicho cálculo, primeramente, se realiza una agrupación preliminar con base en características geográficas, tomando en consideración la latitud, longitud, elevación, provincia, cantón e inclusive distrito, también tomando como referencia las formas de relieve predominantes. Luego se toma la precipitación promedio mensual por año (no se consideran los datos faltantes) y con esta información se obtiene la correlación lineal entre estaciones fundamentada en el ciclo anual.

También se calculan, utilizando las mediciones diarias de precipitación, para cada año por cada EM los siguientes estadísticos: mediana, media, desviación estándar, primer cuartil (Q1), tercer cuartil (Q3), máximo y mínimo.

A partir de los estadísticos generados se obtienen, para todos los años, los promedios y los valores máximos de precipitación diaria en cada mes, con el fin de establecer umbrales dentro del control de calidad. Añadido a esto se generan y analizan las gráficas de dispersión y caja de bigotes que muestran en forma anual los datos diarios de lluvia para cada EM.

Utilizando los recursos mencionados se determinan los patrones, evolución de la precipitación durante el año y mediciones anómalas, así como los periodos de datos faltantes, valores de ceros sospechosos y datos extremos aislados.

De forma complementaria y como medida de verificación de la información, se investigan las principales causas asociadas con los datos anómalos (sensor, instrumento, ubicación, evento hidrometeorológico, etc.).

Tercera fase

- Elaboración de la propuesta metodológica para la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad

Para la elaboración de la propuesta del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) se avalúan los posibles errores detectados durante las giras de campo, las inconsistencias y la representatividad de los datos.

De acuerdo con la metodología de trabajo llevada a cabo en el DRMPD, se establecen procedimientos y pautas a seguir.

Se desarrolla la propuesta de Gestión de Calidad, siguiendo los lineamientos de la OMM y Normas ISO mediante:

- El establecimiento de pautas para los diferentes niveles de control de calidad.

- El estudio de la climatología para la determinación de umbrales y el desarrollo de algoritmos matemáticos para el diseño del sistema de validación.
- El establecimiento de indicadores de calidad y modelo de metadatos.
- La categorización de las EM y creación de matriz de riesgo.
- La implementación de auditorías internas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Un Sistema de Gestión de Calidad para un Servicio Meteorológico requiere de planificación, acción y efectiva verificación. En el caso particular de la precipitación, es importante establecer pautas que regulen el funcionamiento del equipo, la toma de datos y su posterior almacenamiento, para conseguir los resultados deseados bajo la normativa establecida por la OMM; así como tomar acciones que mejoren de manera continua el desempeño de los pluviómetros, incluyendo procedimientos para la verificación de las mediciones mediante niveles de calidad establecidos.

2.1. Precipitación

Antes de iniciar la discusión en relación con un Sistema de Gestión de Calidad aplicado a las mediciones de la variable precipitación, es vital tener claro este concepto.

La OMM (2017) define la precipitación como “el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes y se deposita en el suelo”, mientras que la cantidad de precipitación será la suma de la cantidad de la precipitación líquida y del equivalente líquido de la precipitación sólida (OMM, 2015). Además, el término precipitación comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la cencellada blanca, la escarcha y la precipitación de la niebla.

Garantizar la calidad de la medición de la lluvia como tipo de precipitación predominante en Costa Rica, es ajustar los procedimientos a un conjunto de normas que, mediante un Sistema de Gestión de Calidad, hace posible controlar la implementación de las políticas de calidad, por lo que es fundamental minimizar en gran parte las fuentes de error antes de obtener los datos.

2.2. Emplazamiento y exposición de equipo meteorológico

Conforme a lo establecido en OMM (2017), una estación meteorológica debe ser instalada bajo consideraciones que permitan que las observaciones sean representativas, según el tipo (sinóptica, aeronáutica y climatológica) en una red nacional.

A continuación, se mencionan algunas consideraciones que se aplican en relación con la elección del emplazamiento y exposición de los instrumentos y/o sensores de una estación meteorológica:

- Estar ubicada en un terreno abierto y llano, cubierta de hierba corta o de una superficie representativa de la localidad.
- Debe de existir un anillo de contención. Idealmente esta es un área de terreno de aproximadamente 10 por 10 metros que rodea los equipos de la estación meteorológica.
- Se debe evitar la vegetación elevada, las zonas inundables, puntos de agua o de humedad como por ejemplo estanques, lagos o zonas de riego, así como las superficies reflejantes, fuentes de calor, tales como edificios y superficies de hormigón.
- Se deben evitar obstrucciones, como edificios y árboles, que pueden afectar la medición de los parámetros meteorológicos.

La distancia entre cualquiera de esos obstáculos (incluidas las vallas) y el pluviómetro no debería ser inferior al doble de la altura del objeto por encima del borde del aparato y, preferentemente, debería cuadruplicar la altura.

El medidor de precipitación (en este caso, la lluvia) conocido como pluviómetro (PV), mide el volumen de agua llovida por metro cuadrado, utilizando un recipiente con simetría cilíndrica y un embudo tal como se aprecia en la Figura 2. El tamaño y la forma de la boca, así como la altura del pluviómetro es variada (OMM, 2017).

La figura mencionada representa un pluviómetro marca Lambrecht Meteo (fabricante y especialista en tecnología de medición meteorológica) y es utilizado en la red meteorológica nacional del IMN.

Figura 2. Pluviómetro mecánico o convencional.



Fuente: Lambrecht Meteo.

Refiriéndose estrictamente a los medidores de precipitación, la OMM (2017) señala que “el viento es la principal fuente de alteración de las mediciones de la precipitación, a causa del efecto de los instrumentos sobre el flujo de aire. A no ser que el pluviómetro esté artificialmente protegido contra el viento, por ejemplo, con un paraviento, los mejores emplazamientos a menudo se hallan en claros de bosques o de huertos, entre los árboles, en zonas de matorrales, o donde cualquier otro objeto actúe eficazmente como cortavientos, contrarrestando las corrientes que vengan de cualquier dirección”. De ahí la importancia de considerar la dirección predominante del viento.

Además, los medidores de lluvia deben ser instalados de manera que sean mínimos los efectos de la evaporación y de las salpicaduras, evitando que se encuentren cerca de un objeto que esté a una distancia inferior al doble de su altura, medida desde el orificio, o sea, la altura de la superficie de captación del pluviómetro (OMM, 2017).

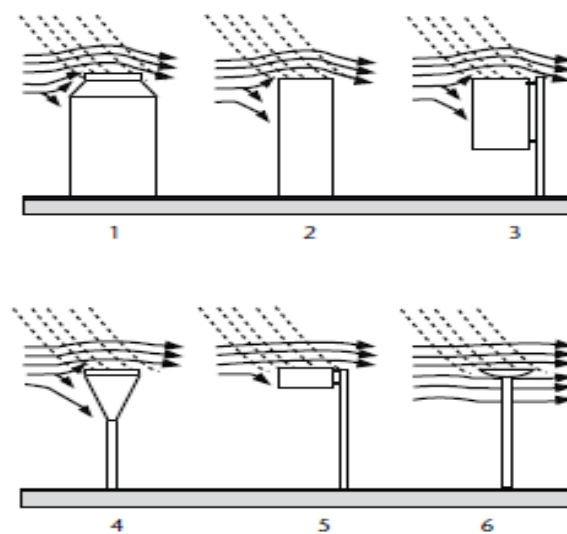
2.2.1. Estación meteorológica convencional

El pluviómetro convencional o manual consiste en un colector que se sitúa encima de un embudo, da paso al agua y ésta se almacena por un determinado tiempo en una probeta hasta que sea medida por una persona observadora encargada de realizar diariamente las mediciones.

En la Figura 3, se muestran las diferentes formas de pluviómetros que existen, sin embargo, la OMM (2017) señala que en su diseño se tienen que tomar en cuenta los siguientes aspectos: el borde del colector debe ser afilado y su interior completamente vertical, que la lluvia no salpique hacia dentro ni hacia fuera, utilizar un material adecuado para minimizar los errores por humidificación, el depósito deber tener una entrada estrecha, suficientemente protegida de la radiación, para reducir al mínimo las pérdidas de agua por evaporación.

La Figura 3, también muestra el flujo del viento (líneas continuas) y las trayectorias de las partículas de precipitación (las líneas discontinuas). El primer pluviómetro muestra la mayor deformación del campo de viento por encima de la boca del instrumento de medición, y el último pluviómetro muestra la menor.

Figura 3. Formas de pluviómetros convencionales.



Fuente: OMM (2017).

El diseño del colector debe reducir la salpicadura de la lluvia hacia adentro o hacia afuera, con la parte vertical profunda y con la pendiente del embudo inclinada al menos 45%. Asimismo, el depósito debe tener la entrada protegida de la radiación para que se minimicen las pérdidas de agua por evaporación (OMM, 2017).

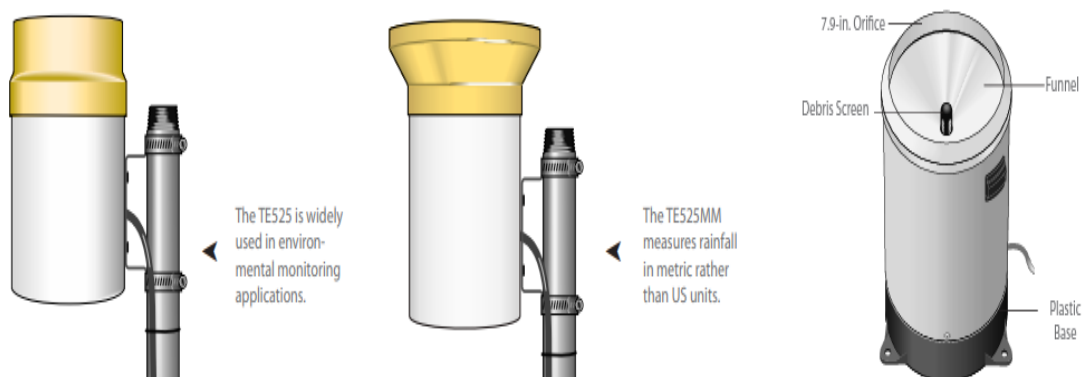
Como parte del proceso de calibración, es importante verificar el diámetro de la boca del colector, a fin de que esté acorde al volumen de la probeta que se utiliza. En visita de mantenimiento preventivo es necesario comprobar la nivelación y limpieza del instrumento y verificar que la vegetación alrededor tenga menos de 5 cm de alto.

2.2.2. Estación meteorológica automática

En la medición de la precipitación se utilizan medidores automáticos, los cuales tienen la ventaja de brindar información a una mayor resolución temporal, lo que reduce las pérdidas de lluvia por humedad y/o evaporación, pero no así, los efectos del viento.

En la Figura 4 se muestran algunos tipos de sensores de precipitación que se encuentran instalados actualmente en el IMN. Los dos primeros PV (lado izquierdo de la página) corresponden a marca Texas Electronics con resolución 0,1 mm y el PV de la derecha es fabricado por Hydrological Services, con una resolución que puede variar entre 0,2 mm y 0,254 mm.

Figura 4. Tipos de pluviómetros automáticos.



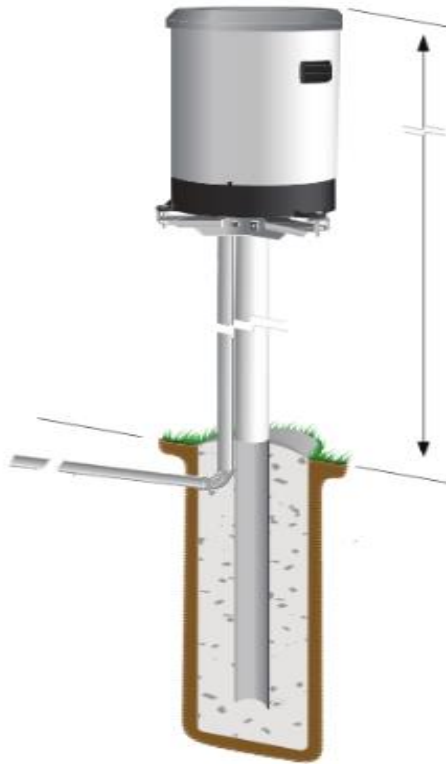
Fuente: Campbell Scientific.

La condición ideal de instalación del pluviómetro consiste en colocar el equipo en un área sin obstáculos. Sin embargo, dada la existencia de estos, se espera que rodeen el aparato uniformemente; es decir, que se encuentren a la misma altura, a una distancia mínima de al menos cuatro veces la altura de los obstáculos cercanos. Se considera como un obstáculo, cualquier objeto con una anchura angular igual o superior a 10° (OMM, 2017).

En el IMN se toman en consideración los siguientes puntos, con el objetivo de obtener mediciones de calidad sujetas a los lineamientos de la OMM, para que exista una homogenización de la información de las estaciones meteorológicas circundantes en la red meteorológica (Picado y Tencio, 2016):

- La altura del equipo de medición deber estar a 1,5 m sobre el nivel del suelo medido desde la boca.
- Para evitar la afectación de la vibración a causa del viento, el tubo en el cual se monta el sensor debe tener un mínimo de dos pulgadas de diámetro y ser de pared gruesa.
- Es ideal que el sensor esté alejado al menos tres metros de la torre, además que el tubo que se utiliza para guiar el cable sea de pared gruesa y resistente a las condiciones ambientales. También tiene que estar a 30 cm de profundidad, como se observa en la Figura 5, y en la medida de lo posible colocar algún protector en la salida de tierra de ambos lados, torre-sensor, para evitar el daño ocasionado por cuchillos o máquinas de cortar zacate.
- Se debe evitar el contacto con el agua en las salidas del cable del pluviómetro, en el caso de ser electrónico.

Figura 5. Pluviómetro automático.



Fuente: Picado y Tencio (2016).

Se debe garantizar, además, que los dispositivos de medición se calibren o verifiquen en espacios de tiempo fijos, para obtener un buen funcionamiento del equipo. Al mismo tiempo, se deben registrar y conservar los registros de los procedimientos citados anteriormente.

2.3. Gestión de datos

Dada la necesidad que tienen los SMHN de brindar datos meteorológicos confiables, surge como prioridad gestionar los datos desde que se originan hasta su almacenamiento, mediante el desarrollo y ejecución de prácticas y procedimientos como, por ejemplo, documentación de información, control de calidad, repositorio de metadatos, entre otros.

2.3.1. Metadatos y documentación

La documentación es necesaria, ya que guía a la persona usuaria en relación con el uso de los datos meteorológicos. Es esencial disponer de metadatos, de la forma en cómo se recopilan los datos y de todos los aspectos asociados al funcionamiento de los pluviómetros manuales y digitales.

Según la OMM (2017), un Sistema de Gestión de Calidad requiere como medida de mejora continua, la revisión y el abordaje de problemas. Tales procesos suelen estar incorporados en el manual de la calidad.

Para obtener la certificación ISO 9001, los SMHN tendrán que definir y dejar constancia documental de lo siguiente:

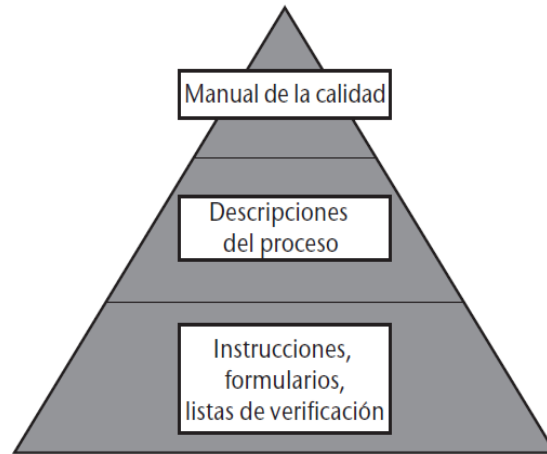
- Control de documentos.
- Control de registros.
- Acción correctiva.
- Acción preventiva.
- Auditoría interna.
- Manuales.

En la Figura 6 se muestra la pirámide jerárquica que debe de tener la documentación del Sistema de Gestión de Datos, la cual incluye procesos y actividades que la OMM lleva a cabo en el marco de dicho sistema.

En la evaluación de la calidad de la observación, es importante además contar con complementos como son: información de noticias, imágenes periodísticas, registros de fenómenos y eventos atmosféricos extremos (fecha, región, impacto: sequía, crecida, precipitación intensa, etc.), entre otros.

Asimismo, los metadatos juegan un papel importantísimo para comprender el origen de los datos meteorológicos, así como para el entendimiento de variables sensibles a la exposición, convirtiéndose en un amplio registro administrativo de la estación meteorológica, que debe ser actualizado, ya que no todos son constantes en el tiempo, como es el caso de la vegetación.

Figura 6. Documentación del sistema de gestión de datos.



Fuente: OMM (2017).

Para fines de operación son necesarios los siguientes metadatos:

- Nombre de la estación.
- Identificador de la estación.
- Coordenadas geográficas.
- Elevación sobre el nivel medio del mar.
- Tipo de superficie.
- Topografía y terreno de emplazamiento.
- Información de exposición: árboles, edificios entre otros.

También es de vital importancia la información acerca de los instrumentos o sensores con los cuales se está trabajando. En función de esto, los metadatos precisos son:

- Principio de funcionamiento.
- Método de medición/observación.
- Emplazamiento y exposición.
- Tipo (Fabricante, Modelo, Serie).
- Incertidumbre.
- Periodicidad de mantenimiento y calibración preventiva.

Tal como se muestra en la Figura 7, existen metadatos que son indispensables de documentar de acuerdo con el tipo de estación meteorológica.

Se debe contar, además, con documentación relacionada con la forma en que se trataron los datos, procedimientos, algoritmos de control de calidad que son empleados, marcador de control de calidad para cada parámetro, así como, el procedimiento de proceso y almacenamiento de la información.

En el caso específico de la precipitación, dada la sensibilidad del medidor de lluvia, los metadatos deben ser documentados meticulosamente para tener un historial completo. Esto garantiza la calidad de la información generada y permite la utilización de estos datos en estudios científicos, sistemas de alerta temprana y avisos meteorológicos, entre otros.

Figura 7. Metadatos importantes de acuerdo con el tipo de estación meteorológica.

Documentación	Metadatos útiles en la evaluación de la calidad de la medición.	
	Estación Meteorológica Convencional	Datos de la persona observadora: nombre, empresa, contacto, años de experiencia realizando las observaciones.
	Estación Meteorológica Automática	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conocimiento del programa en uso (parámetros medidos, hora de referencia, cantidad de datos) de acuerdo con la resolución temporal. 2. Intervalo de tiempo durante el que se toman las muestras . 3. Conocimiento de si se trata de un valor medio, muestra, máximo o mínimo.

Fuente: Elaboración propia.

2.3.2. Aseguramiento y control de la calidad

De acuerdo con OMM (2007), mediante su Programa Mundial de Datos y Monitoreo del Clima (WCDMP), todo cambio ocurrido en la estación meteorológica (modificación de las técnicas de observación, cambio en el emplazamiento, altura de instalación, entre otros) deben ser documentados, ya que esto puede generar faltas de homogeneidad temporal en las series cronológicas de un sistema de observación. Además, mediante análisis estadísticos se pueden homogenizar las series de datos, utilizando las series de estaciones cercanas, donde la corrección de los errores debido al viento puede reducir el sesgo de los valores obtenidos. Dado lo anterior, garantizar la calidad y realizar control de calidad son elementos fundamentales en todo sistema eficaz de gestión de calidad. Este proyecto enfatiza aquellos elementos que aseguren la calidad de los datos de precipitación y establece las técnicas y actividades operativas a seguir en el IMN, a fin de complementar las tareas que se realizan actualmente.

Para que un dato tenga buena calidad, debe cumplir con las necesidades de las personas usuarias, por lo que el Sistema de Gestión de Calidad debe asegurarse de que la información plasme condiciones tales como son la representatividad, la homogeneidad y la resolución. OMM (2017) indica que un buen sistema de calidad actúa de manera continua, incluyendo elementos como la planificación de la red meteorológica, transmisión y archivo de datos, tomando en cuenta todo el proceso de instalación y operación del equipo, así mismo trabajar en mecanismos de respuesta y dar seguimiento.

Es necesario minimizar las posibilidades de eliminar o ajustar un dato después de verificar su validez, mediante un control de calidad posterior. Si el dato obtenido es de la calidad deseada, significa que los procesos implementados están bien dirigidos y a su vez se verifica la calidad del sistema de control empleado en el IMN.

El control de calidad de la lluvia en Costa Rica es de vital importancia, ya que, al estar el país ubicado en la zona tropical, esta variable meteorológica es determinante para el desarrollo y accionar de diferentes sectores como la agricultura, la industria y el urbanismo, entre otros. Cabe mencionar, además, que esta región posee varios climas

y gran variedad de microclimas en donde la precipitación líquida es fundamental en las actividades diarias. Asimismo, puede traer consigo afectaciones como inundaciones o sequías, ya sea por la época del año o por influencia de algún evento hidrometeorológico, así como por la variabilidad climática producto de la dinámica atmosférica de la región centroamericana.

En la gestión de datos y como un componente importante del sistema de gestión de calidad, el control de calidad asegura la verificación de los datos y en la medida de lo posible que los mismos estén exentos de errores.

Las técnicas estadísticas como los diagramas de cajas, gráficos de dispersión, cálculo de la media, la desviación estándar, factor de correlación entre otros, son herramientas que permiten la detección de errores e inclusive la identificación de un valor incorrecto. Los datos deben ser sometidos a un control de calidad automático, utilizando programas informáticos de análisis estadístico (por ejemplo, R Commander: <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>), que requieren de igual manera que el analista de datos emita un criterio acerca de las posibles anomalías, datos sospechosos e inclusive decidir si se deben eliminar o corregir los datos. Un recurso muy útil es la representación de datos en gráficos y mapas (OMM, 2011).

La OMM (2007) señala que las observaciones deben estar acompañadas de un marcado mediante banderas, lo que permite indicar si el dato:

Ha sido o no comprobado.

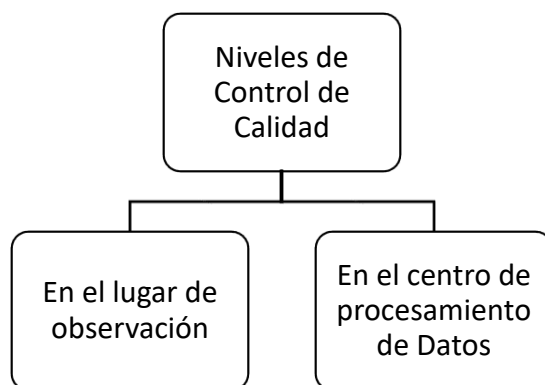
Comprobado de forma automática o por un experto.

- Es o no original.
- Es o no sospechoso.
- Es o no erróneo.
- Es o no correcto.
- Es calculado o no (medida directa o indirecta).

También, la OMM (2007) recomienda describir toda modificación que se realice en el sistema de control de calidad. Añadido a esto, cada operador de control de calidad debe de realizar las recomendaciones pertinentes para que los encargados del mantenimiento de las estaciones puedan oportunamente realizar la inspección, cambio, ajuste de instrumento/sensor, con el fin de garantizar la integridad del proceso; asimismo, se recomienda ocasionalmente realizar auditorías aleatorias.

El control de la calidad debe ser aplicado antes y después de adquirir los datos, por lo que, en la práctica, la responsabilidad de este proceso debe ser dividida en dos niveles, tal y como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Niveles de aplicación de los procedimientos de control de calidad.



Fuente: Elaboración propia.

Control de Calidad en el lugar de observación

De acuerdo con OMM (2011), durante la visita de campo se deberá verificar:

- Extremos existentes.
- Coherencia interna de la secuencia de observación.
- Coherencia de la secuencia de fechas y horas de observación.

Además, es importante documentar la existencia de errores o datos dudosos.

Una medida de control de calidad en el sitio comprende también el mantenimiento preventivo de los sensores/instrumentos. Es fundamental asegurarse que el estado de la torre meteorológica sea el adecuado, confirmar que la lectura de los instrumentos se esté realizando de acuerdo con los procedimientos establecidos en OMM (2010, 2011), así como la verificación de los programas de las estaciones meteorológicas automáticas; a su vez, corroborar las gráficas para el cambio o modificación adecuada de equipo meteorológico.

Control de Calidad en el centro de procesamiento de Datos

La guía OMM (2011) sugiere que antes del ingreso a la base de datos, las mediciones deben ser sometidas a una verificación para determinar que el dato sea representativo y no esté afectado por factores externos. Es aquí donde la persona experta juega un papel determinante en la comprensión de la representatividad de las lecturas, identificando que los valores registrados reflejen las condiciones atmosféricas imperantes y que exista una relación en función del comportamiento atmosférico entre las variables meteorológicas observadas (humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, precipitación, etc.).

- **Pruebas de formato**

La primera prueba de validación corresponde a las pruebas en función del formato en donde se debe verificar:

- Observaciones repetidas.
- Campos en blanco.
- Caracteres alfa en lugar de numéricos.
- Formato de fechas.
- Identificadores imposibles.

En el caso de introducción de datos en forma manual, debe ser hecho por personas diferentes (OMM, 2011).

- **Pruebas de coherencia**

En cuanto a las pruebas de coherencia se puede encontrar:

- **Coherencia interna:** se refiere a la comparación de los parámetros meteorológicos con otros elementos afines dentro de cada observación.
- **Coherencia temporal:** se debe analizar la variación de una variable en el tiempo, determinar la correlación en la serie de datos, un valor sospechoso debe siempre relacionarse con el tiempo atmosférico del momento; de igual manera, si no existe un cambio puede ser posible que exista un problema con el sensor/instrumento.
- **Coherencia espacial:** es la comparación con otras estaciones de la zona, con características similares como altura del sensor, elevación, topografía, climatología similar entre otros.
- **Coherencia sumaria:** consiste en la realización de pruebas de reducción de datos, las cuales son útiles en algunos casos, ya que se puede efectuar una comparación entre resúmenes, calculando sumas y promedio de valores diarios con periodos de meses, años y esto permiten una validación cruzada.

Es preciso en este tipo de pruebas documentar procedimiento, formulas y criterios de decisión (OMM, 2011).

CAPÍTULO III
ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Estaciones meteorológicas seleccionadas

Después de explorar el Sistema de Observación del IMN, se identificaron las EM pertenecientes a la Zona Climática Región Central, donde se confirmó que toda la Red ubicada en esta Región contaba con mediciones de precipitación.

Tomando en consideración una muestra poblacional de 71 EM que se encontraban operando al 2020, se seleccionaron 26 estaciones meteorológicas, donde 19 corresponden a estaciones meteorológicas mecánicas (EMM) y los 7 restantes a estaciones meteorológicas automáticas (EMA). Esta elección obedeció a que la Red Pluviométrica contaba con un registro de al menos 20 años. La Tabla 1 muestra las 26 estaciones utilizadas en el análisis. Al mismo tiempo, con la elaboración de la Tabla 2, se verificó el periodo de datos disponibles, para así definir el periodo de estudio 1999-2019.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas de la Región Central para el periodo 1999-2019.

ID	Nombre	Tipo	Latitud	Longitud	Elevación (msnm)
73018	Linda Vista, El Guarco	M	9°50'18"	83°57'48"	1400
73024	Paraíso, Los Naranjos	M	9°49'38"	83°52'44"	1380
73035	Navarro, Cartago	M	9°48'19"	83°52'21"	1100
73048	Dulce Nombre	M	9°50'19"	83°54'26"	1345
73115	Capellades, Birris	M	9°54'36"	83°47'5"	1610
73117	San Juan De Chicao	M	9°57'15"	83°51'52"	3090
73123	ITCR, Cartago	U	9°51'8"	83°54'31"	1360
73129	Recope, Ochomogo	U	9°53'40"	83°56'19"	1546
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos	M	9°55'46"	84°0'22"	1320
84010	Alajuela Centro	M	10°01'03"	84°13'13"	950
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	M	9°55'18"	84°0'50"	1240
84091	E. C. De Ganadería, UTN	M	9°55'55"	84°22'30"	450
84092	Tegucigalpa, Itiquis	M	10°3'0"	84°12'23"	1080
84111	Santa Lucía, Heredia	M	10°1'19"	84°6'42"	1200
84119	Guachipelín, Santa Ana	M	09° 56' 52"	84° 09' 43"	978
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	M	9°56'43"	83°55'18"	2220

84135	Cerro Tapezco	M	09°54'	84°9'	1700
84139	CIGEFI	U	9°56'11"	84°2'43"	1210
84141	IMN, Aranjuez	U	9°56'17"	84°4'11"	1181
84151	Chagüite, El Roble, Santa Barbara	M	10°4'46"	84°9'50"	1505
84159	Hda. La Giralda	M	10°7'41"	84°9'35"	2049
84169	Aerop. Juan Santamaria, MP	U	9°59'26"	84°12'53"	913
84183	Calle Vargas, Tambor	M	10°2'38"	84°14'46"	952
84187	Fabio Baudrit	U	10°0'18"	84°15'56"	840
84191	Recope, La Garita	U	10°0'19"	84°17'45"	740
84277	La Aurora	M	09° 59' 14"	84° 09' 02"	1025

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Clasificación de las estaciones meteorológicas por subregión.

ID	Nombre	Tipo	Subregión	Periodo De Observación	Cantidad De Años
73018	Linda Vista, El Guarco	M	E	01/01/1951-31/01/2020	68
73024	Paraíso, Los Naranjos	M	E	01/01/1953-31/01/2020	66
73035	Navarro, Cartago	M	E	01/01/1969-31/12/2019	50
73048	Dulce Nombre	M	E	01/01/1996-31/01/2020	23
73115	Capellades, Birris	M	E	01/01/1992-31/12/2019	27
73117	San Juan De Chicoa	M	E	01/01/1964-30/11/2019	55
73123	ITCR, Cartago	U	E	01/07/1997-06/02/2020	22
73129	Recope, Ochomogo	U	E	06/08/1998-04/12/2019	21
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos	M	C	01/01/1954-31/12/2019	65
84010	Alajuela Centro	M	O	01/01/1935-31/01-2020	84
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	M	C	01/01/1969-31/12/2019	50

84091	E. C. De Ganadería, UTN	M	O	01/01/1975-31/01/2020	44
84092	Tegucigalpa, Itiquis	M	O	01/01/1976-31/01/2020	43
84111	Santa Lucia, Heredia	M	O	01/01/1982-31/01/2020	37
84119	Guachipelín, Santa Ana	M	C	01/01/1986-30/11/2019	33
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	M	E	01/01/1994-31/01/2020	25
84135	Cerro Tapezco	M	C	01/01/1998-31/01/2020	21
84139	CIGEFI	U	C	01/01/1999-06/02/2020	20
84141	IMN, Aranjuez	U	C	11/10/1995-06/02/2020	24
84151	Chagüite, El Roble, Santa Barbara	M	O	01/01/1998-31/01/2020	21
84159	Hda. La Giralda	M	O	01/01/1998-31/01/2020	21
84169	Aerop. Juan Santamaria, MP	U	O	12/08/1997-02/02/2020	22
84183	Calle Vargas, Tambor	M	O	01/01/1990-31/01/2020	29
84187	Fabio Baudrit	U	O	01/01/1995-02/02/2020	24
84191	Recope, La Garita	U	O	23/11/1998-07/01/2020	21
84277	La Aurora	M	C	01/01/1997-31/01/2020	22

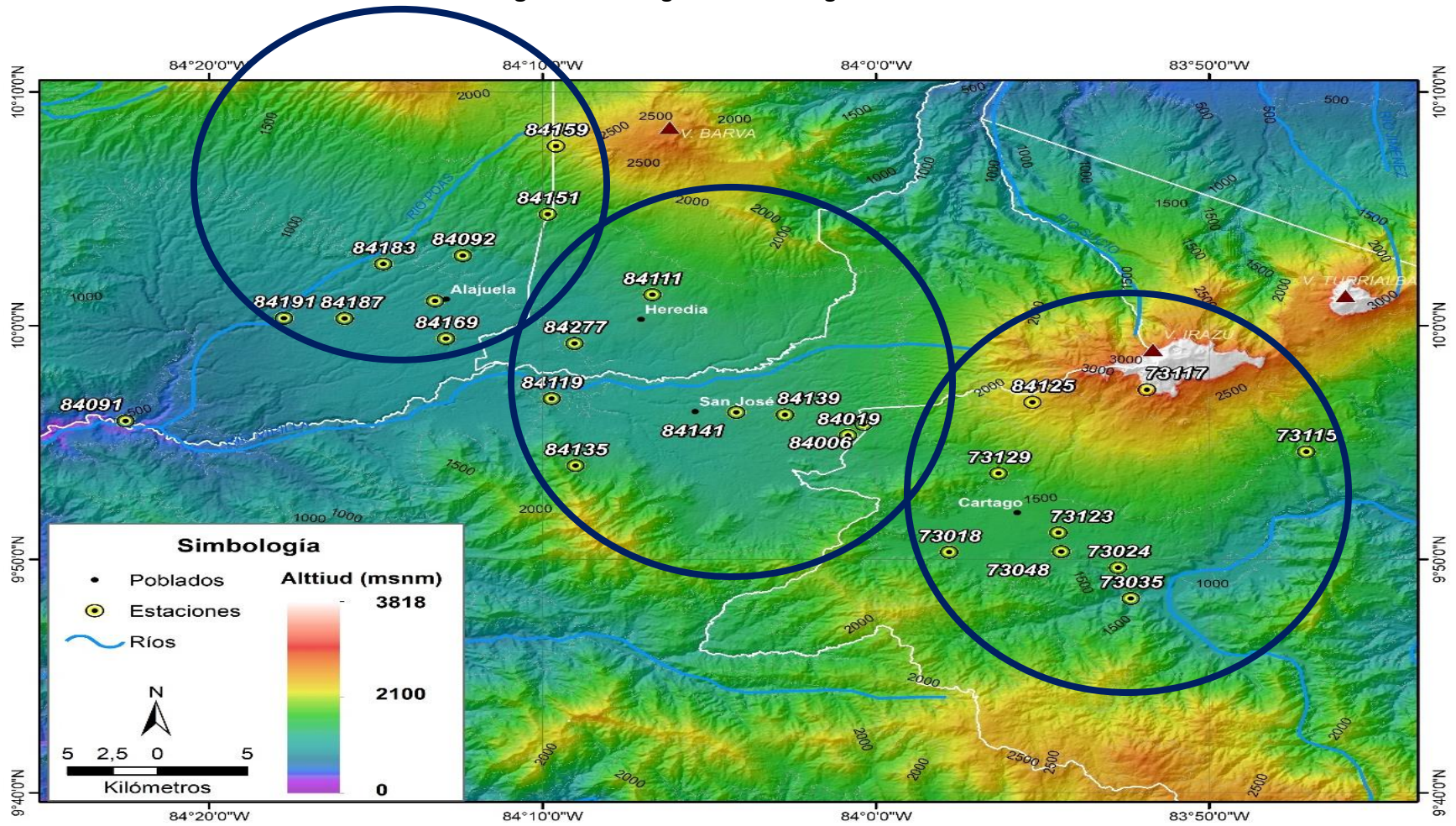
Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 presenta la clasificación de las subregiones Este (E), Central (C) Oeste (O), así como el periodo de datos disponibles en la base de datos (BD). En dicha tabla, también se puede apreciar que de las 26 EM (con periodo ≥ 20 años), 7 EM cuentan con un registro de datos mayor a 50 años, donde se destaca la EMM 84010, Alajuela Centro, que cuenta con 84 años de observaciones. Para un periodo mayor a 30 años (ideal para el cálculo de climatologías), se cuenta con 11 EMM. Es importante resaltar

que el estudio tomó en consideración pocas estaciones meteorológicas de tipo automático, debido a que su instalación apenas inició en el año 1995.

Después de elegir las 26 EM, se procedió a clasificarlas por subregión Este, Central y Oeste, de acuerdo con lo mencionado en el capítulo anterior, con el objetivo de ilustrar un patrón geográfico determinado por su climatología, elevación y elementos del relieve tales como montañas, valles entre otros. Ver Figura 9.

Figura 9. Subregiones de la Región Central.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Reconocimiento de fenómenos y eventos atmosféricos Gestión de datos

De manera preliminar al análisis de datos, se tomó la determinación de explorar los regímenes de precipitación de las Vertientes del Pacífico y del Caribe. De acuerdo con Manso, Stolz y Fallas (2005) cada una de estas vertientes, presenta su propio comportamiento en términos de la precipitación y tienen características particulares de distribución espacial y temporal sobre la Región Central del país, tal y como se señala en la Tabla 3.

Tabla 3. Régimen de precipitación de la Vertiente del Pacífico y de la Vertiente del Caribe.

	Régimen Vertiente del Pacífico	Régimen Vertiente del Caribe
Época seca	diciembre-marzo	Menos lluvioso febrero-marzo, setiembre-octubre
Mes de transición	abril, noviembre	No aplica
Mes más seco y cálido	marzo	No aplica
Época lluviosa	mayo-octubre	noviembre-enero, mayo-agosto
Veranillo o canícula	julio-agosto	No aplica
Meses más lluviosos	setiembre-octubre	diciembre, julio
Lluvia predominante	tarde- noche	noche -mañana
Fuentes de influencia	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas ciclónicos • Vientos Monzones provenientes del océano Pacífico ecuatorial • Brisas marinas • ITCZ (mayo-noviembre) 	<ul style="list-style-type: none"> • Frentes Fríos (noviembre-mayo) • Vientos Alisios

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando la información anterior relacionada con los regímenes de precipitación y una forma de enlazar los datos atípicos y/o aberrantes durante el análisis de las mediciones, se reconoció la fase de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) que predominó

en cada año. Se identificaron los ciclones tropicales que afectaron directa e indirectamente al país durante los años 1999-2019, así como, la influencia de los frentes fríos, entre otros fenómenos y eventos atmosféricos.

Tras la lectura e indagación de artículos periodísticos, publicaciones del IMN y Comisión Nacional de Emergencias (CNE), Boletines ENOS-IMN, Boletines Meteorológicos Mensuales del IMN, visita a la página oficial de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), entre otros, se compiló la información en forma de Tablas, una por cada año durante los 20 años de estudio. Esto permitió un mejor manejo de la información recopilada y vincular de manera eficiente los datos de esta investigación con el registro de observaciones disponibles para el estudio.

En la Tabla 4 se encuentran los años correspondientes a El Niño o La Niña. Para su identificación, se examinó la fase cálida y fría del ENOS para el periodo 1999-2019, por medio del Índice Oceánico del Niño (ONI) que se basa en un umbral de +/- 0.5 °C.

Tabla 4. El Niño y la Niña 1999-2019.

Año	Fase Predominante
1999	La Niña
2000	La Niña
2001	Neutro
2002	El Niño
2003	Neutro
2004	Niño
2005	Neutro
2006	Niño
2007	Niña
2008	Niña
2009	Niño
2010	Niña
2011	Niña
2012	Neutro
2013	Neutro
2014	Neutro
2015	Niño
2016	Niño

2017	Neutro
2018	Niño
2019	Niño

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta la Tabla 5 con el resumen de los fenómenos y eventos meteorológicos suscitados durante el periodo 1999-2019 y de mayor relevancia en el país e influyentes en la variable de precipitación.

Se pueden observar en la tabla en cuestión, aquellos acontecimientos meteorológicos que, de acuerdo con la revisión realizada, influyeron en la precipitación de la Región Central en diferentes años, algunos de los cuales generaron inundaciones e inclusive déficit de lluvias.

Se señala en el espacio correspondiente, marcando con una “x”, el fenómeno o evento meteorológico presentado, destacando así la fecha o mes de ocurrencia. Para el caso específico de las tormentas tropicales y huracanes, se indica igualmente su nombre.

De la Tabla 5, también se puede observar que los fenómenos más frecuentes son los frentes fríos, seguidos por las ondas tropicales y los huracanes, además que el mes que presenta más eventos/fenómenos es octubre.

Tabla 5. Fenómenos y eventos meteorológicos más relevantes entre el periodo 1999-2019.

Año	Nombre	Fecha	Frente Frío	Empuje Frío	Sistema Baja Presión	Vaguada	Onda Tropical	Depresión Tropical	Tormenta Tropical	Huracán	Alisios ITCZ	Conglomerado Convectivo	Observaciones
1999		13-14/02	x										
	Floyd	28/08								x			
2000		18-20/05					x						
		08/10											Inundaciones Zona Norte
	Keith	28/09-01/10								x			
2001	Gabriel	11-19/09								x			
	Michael	29/09-1/10								x			
2002		09/12						x					
		05/05				x							
		29/06											Lluvias intensas
		23/11	x										
		08/12	x										
2004		07/05			x								
2005		19/9							x				
	Rita	19-25/09								x			
		08/10											Aumento de lluvias
	Vilma	14-25/10								x			
2006		18/9			x								

2007		13-14/06					x						
		21-30/06			x								
		11-13/10					x						
		12-13/10						x					
		08-21/10			x								
		Noviembre	x										
		09/12					x						
2008		Enero	x										
	Alma	29-30/05							x				
		Julio					x						
		Agosto					x						
		Setiembre					x						
		Octubre		x									
		18-27/11	x										
		Diciembre			x								
		03/12	x										
		12/12	x										
2009		21/01		x									
		09-18/02											Déficit de lluvia en el Valle Central
		Marzo											Déficit de lluvia en el Valle Central

	Abril											Aguaceros en el Valle Central
	Ida	3/5/2011							x			
	Mayo									x		Fuertes lluvias en el Valle Central
		12/11		x								
		17/11		x								
2010		10-13/01	x									
		Marzo	x	x								
		01/06					x					
		Junio									x	
	Nicole	20/09							x			
	Thomas	07/11							x			
2011		11/10	x									
		21/11						x				
2012		27/07				x						
	Sandy	23-29/10								x		
		29/10			x							
2014		24/09				x						
2016	Otto	24/11								x		
2017	Nate	4/5/2010								x		
2018		Diciembre	x									

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Registro de Metadatos

3.3.1. Metadatos relacionados a las estaciones meteorológicas en estudio

Considerar los metadatos permite avalar la máxima utilidad de las mediciones, por ende, se indagó sobre los metadatos disponibles en la base de datos Institucional, dándole prioridad a la búsqueda de aquella información que permite interpretar los datos de precipitación en contexto, con el fin de aprovechar todo el potencial de la información. Dada la necesidad que tienen los SMHN de brindar datos meteorológicos confiables, surge como prioridad gestionar los datos desde que se originan hasta su almacenamiento, mediante el desarrollo, ejecución de prácticas y procedimientos, como, por ejemplo, documentación de información, control de calidad, repositorio de metadatos, entre otros.

A continuación, se presentan las Tablas 6, 7, 8 y 9 las cuales fueron creadas con los metadatos encontrados durante la investigación.

Para una mayor comprensión de los contenidos, se señalan de la siguiente manera, la simbología utilizada para representar las variables medidas por cada EM.

L: Lluvia

T: Temperatura del Aire

H: Humedad Relativa

V: Viento

P: Presión Atmosférica

G: Heliógrafo

R: Radiación Global

Q: Tanque de evaporación

Los metadatos denotados, además de ser una evidencia de los contenidos disponibles en la BD institucional, son datos acerca de los datos; aquí es donde radica su importancia, dado que son útiles para suministrar información acerca de las mediciones de lluvia.

Los metadatos caracterizan los datos, sirven para describir el valor de precipitación, determinar su calidad, conocer las condiciones bajo las cuales se obtuvo el dato, así como su historia, entre otros aspectos.

La Tabla 6 muestra el tipo de red meteorológica a la cual pertenece cada EM. El IMN cuenta con una clasificación de redes según un objetivo determinado, por ejemplo, la Red Metropolitana, la cual fue creada como una red compuesta de PV convencionales alrededor de toda el área metropolitana, con el fin de determinar la precipitación en la región. Por otro lado, también señalado en la Tabla 6, es relevante conocer la institución dueña y encargada de la operación del equipo para su eventualidad sustitución, reinstalación y/o desinstalación.

Tabla 6. Metadatos relacionados a la Red Meteorológica Región Central 1999-2019.

ID	Nombre	Tipo de Red	Dueño	Operada por
73018	Linda Vista, El Guarco	Red Nacional	IMN	IMN
73024	Paraíso, Los Naranjos	Red Nacional	IMN	IMN
73035	Navarro, Cartago	Red Nacional	IMN	IMN
73048	Dulce Nombre	Red Nacional	IMN	IMN
73115	Capellades, Birris	Red Nacional	IMN	IMN
73117	San Juan De Chicao	Red Nacional	IMN	IMN
73123	ITCR Cartago	Red Nacional	IMN	IMN
73129	Recope, Ochomogo	Red Nacional	IMN/RECOPE	IMN
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos	Red Nacional	IMN	IMN
84010	Alajuela Centro	Red Metropolitana	IMN	IMN
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	Red Nacional	IMN	IMN
84091	E. C. De Ganadería UTN	Red Nacional	IMN	IMN
84092	Tegucigalpa, Itiquis	Red Nacional	IMN	IMN
84111	Santa Lucía, Heredia	Red Nacional	IMN	IMN/UNA
84119	Guachipelín, Escazú	Red Metropolitana	IMN	IMN
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	Red Nacional	IMN	IMN
84135	Cerro Tapezco	Red Nacional	IMN	IMN
84139	CIGEFI	Red Nacional	IMN	IMN

84141	IMN, Aranjuez	Red Nacional	IMN	IMN
84151	Chaguite, El Roble, Sta Barbara	Red Nacional	IMN	IMN
84159	Hda. La Giralda	Red Nacional	IMN	IMN
84169	Aerop. Juan Santamaria, Media Pista	Aeroportuaria	IMN	IMN
84183	Calle Vargas, Tambor	Red Nacional	IMN	IMN/UCR
84187	Fabio Baudrit	Red Nacional	IMN/UCR	IMN
84191	Recope, La Garita	Red Nacional	IMN/RECOPE	IMN
84277	La Aurora	Red Metropolitana	IMN	IMN

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 7, contiene metadatos relacionados con datos geográficos; esto resulta un complemento importante en la información geográfica como lo son las coordenadas geográficas tomadas en cada sitio de emplazamiento, ya que son útiles para la identificación de puntos de observación para estudios, pronósticos por regiones o por ciudades, entre otros, e incluso en los planes de rediseño de la red meteorológica nacional.

Tabla 7. Metadatos relacionados a datos geográficos Región Central 1999-2019.

ID	Provincia	Cantón	Distrito	Ubicación
73018	Cartago	El Guarco	San Isidro	Poblado Barrancas
73024	Cartago	Cartago	Dulce Nombre	Hacienda Naranjos
73035	Cartago	Cartago	Dulce Nombre	2km Sureste De Navarro
73048	Cartago	Cartago	Agua Caliente	Poblado Dulce Nombre
73115	Cartago	Alvarado	Juan Viñas	Embalse De Birri
73117	Cartago	Oreamuno	Potrero Grande	Finca Irazú
73123	Cartago	Cartago	Dulce Nombre	Instituto Tecnológico Cartago
73129	Cartago	Cartago	San Nicolás	Subestación Recope, Ochomogo
84006	Cartago	La Unión	San Juan	Poblado Concepción
84010	Alajuela	Alajuela	Alajuela	Cementerio De Alajuela

84019	San José	Curridabat	Sánchez	1 km Al Norte De Curridabat Rio Maria Aguilar
84091	Alajuela	Atenas	Concepción	Poblado Balsa De Atenas
84092	Alajuela	Alajuela	San Isidro	Poblado Itiquis
84111	Heredia	San Rafael	Santa Lucía	Barrio Santa Lucia
84119	San José	Escazú	Escazú	Guachipelín
84125	Cartago	Cartago	Llano Grande	Poblado La Laguna
84135	San José	Escazú	San Antonio	
84139	San José	Montes De Oca	San Pedro	Barrio Lourdes
84141	San José	San José	Carmen	Barrio Aranjuez
84151	Heredia	Santa Barbara	Jesús	Poblado Chagüite
84159	Heredia	Santa Barbara	Santo Domingo	Finca La Giralda
84169	Alajuela	Alajuela	Río Segundo	Aeropuerto, Alajuela
84183	Alajuela	Alajuela	Tambor	
84187	Alajuela	Alajuela	Tambor	Poblado El Coyol De Alajuela
84191	Alajuela	Alajuela	Garita	Poblado Ingenio Casa, Rincón De Cacao
84277	Heredia	Heredia	Ulloa	

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las Tablas 8 y 9 se destacan los metadatos relacionados con los sensores, instrumentos y equipo utilizados en la medición de lluvia durante el periodo de estudio, información fundamental para comprender el origen y la toma de los datos.

Tabla 8. Metadatos relacionados a los sensores de precipitación utilizados en la Red Pluviométrica Región Central 1999-2019.

Modelo	Fabricante	Resolución	Precisión	Diámetro
TR525	TEXAS ELECTRONICS	0,1 mm	1% sobre 50 mm h ⁻¹ 1	24,5 cm
TR525MM	TEXAS ELECTRONICS	0,1 mm	1% sobre 50 mm h ⁻¹ 1	24,5 cm
TB4M	HYDROLOGICAL SERVICES	0,254 mm	700 m h ⁻¹	20 cm
TB4	HYDROLOGICAL SERVICES	0,2 mm	700 mmh ⁻¹	20 cm

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Metadatos relacionados a los equipos, sensores e instrumentos de medición de la Red Pluviométrica Región Central 1999-2019.

ID	Tipo	Variables Medidas	Sensores Instalados (modelos)			Tipo de Logger	Tipo de Comunicación
73018	M	LTHG					
73024	M	L					
73035	M	L					
73048	M	LTHG					
73115	M	L					
73117	M	LG					
73123	U	LTHVR	TR525M (20/03/1997 - 19/05/2008)	TR525MM- (19/05/2008 - 07/09/2016)	TB4 (07/09/2016 - 2020)	CR800	PTD
73129	U	LTHVR	TR525M (08/06/2007 - 08/11/2015)			CR800	
84006	M	L					
84010	M	L					

84019	M	L					
84091	M	L					
84092	M	L					
84111	M	LTHQG					
84119	M	L					
84125	M	LTHG					
84135	M	L					
84139	U	LTHVPGR	TE525M (25/05/1998 - 25/08/2016)	TB4 (25/08/2016 -2020)		CR1000	PTD
84141	U	LTHVPGR	TR525M (03/09/2003 - 25/05/2006)	TRP525M (25/05/2006 - 23/09/2016)	TB4M (23/09/2016 -2020)	CR1000	Interfaz
84151	M	L					
84159	M	L					
84169	U	LTHVPR	TR525M (17/11/1998 - 19/05/2008)	TR525M (27/10/2006 - 13/08/2007)		CR1000	Radio
84183	M	L					
84187	U	LTHVPRA S	TR525M (26/05/1999 - 27/10/2006)	TR525M (19/05/2008 - 27/01/2017)	TB4M (27/01/2017 -2020)	CR1000	PTD
84191	U	LTHV	TR525 (08/06/2007 - 17/12/2014)			CR800	PTD
84277	M	L					

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el metadato mostrado en las Tablas 1 y 2 (coordenadas geográficas, elevación y periodo de observación), se pudo deducir que los metadatos están muy completos y están disponibles para todos los usuarios; sin embargo, con base en las Tablas 6, 7, 8 y 9 y teniendo presente que toda información pertinente a una EM debe ser documentada, por cuanto el historial es relevante para la aplicación de los datos, se debería implementar una adecuada organización, centralización, asociación y documentación de la información. Esto porque a pesar de existir información

relacionada a las EM, y con acceso a ella mediante aplicaciones informáticas e inclusive carpetas digitales creadas en los servidores de respaldo del IMN, resulta un proceso engorroso poder acceder a información específica.

Dado lo mencionado anteriormente, se comprobó que es necesario describir y a su vez documentar procedimientos operativos, algunos aspectos de la variable observada, las condiciones y el modo en que se hizo la observación, así como el método y algoritmos de proceso de los datos. Además, es necesario registrar y someter a consideración algunos metadatos que contempla la OMM y que son de gran importancia en la toma de decisiones.

3.3.2. Metadatos relacionados al proceso y tratamiento de datos

En esta sección se exponen los metadatos obtenidos durante la investigación y las entrevistas realizadas al personal de DRMPD, relacionados al proceso de datos; es decir, los procedimientos de proceso y generación de datos de precipitación como programa de medición u observación, fórmulas para calcular la variable meteorológica, origen de los datos, también los metadatos referentes al tratamiento de los datos, como por ejemplo, los procedimientos y algoritmos de control de calidad de datos, almacenamiento y algunos elementos de interés, tales como marcadores de control de calidad, constantes y valores utilizados para la precipitación.

A continuación, se presentan los metadatos recolectados según tipo de estación meteorológica.

- Estación meteorológica convencional

La observación o toma de muestra de los datos, se realiza diariamente a las 7:00 a.m.; ésta consiste en la medición de la precipitación durante 24 horas, con resolución diaria u horaria según instrumento.

La lluvia se obtiene del pluviómetro o pluviógrafo, con resolución de 0,1 mm y su método o modo de observación depende de la frecuencia de los datos (diaria/horaria), por ejemplo, para el caso de los pluviómetros, la lluvia recolectada, es medida diariamente con una probeta graduada de 0 a 10 milímetros, y se anota en una hoja de campo ya sea la MET1 (hoja de campo donde se anota la lluvia diaria) o

la MET3 (hoja de campo donde se anota la lluvia y temperaturas extremas diarias). Para mayor información sobre estos registros de campo, se sugiere ver los Anexos 5 y 6.

En cuanto al pluviógrafo, la precipitación es medida en forma horaria durante 24 horas, mediante una banda de papel que la registra en forma gráfica; cada día se debe hacer cambio de banda.

Las mediciones corresponden a la suma total correspondiente a 24 horas; es decir, un acumulado de precipitación.

¿Cómo se procesan los datos medidos?

Recibida la información que fue recolectada durante la gira de mantenimiento o enviada vía correo electrónico, fax, entre otros, se revisa la papelería correspondiente (MET1, MET3 y/o bandas pluviográficas), determinando si hay falta de datos, datos borrosos, alguna anomalía o situaciones que puedan interferir en el dato como tal. Las inconsistencias son anotadas para llevar un control y registro. De ser necesario, se realiza contacto con el observador meteorológico.

Con respecto al Control de Calidad (CC), las lecturas provenientes de los pluviómetros son ingresadas directamente a la BD.

Las anotaciones (en las hojas de campo) realizadas por los observadores varían entre ellas. Algunos registros se colocan en la casilla correspondiente al día en que se efectúa la medición y otros se colocan en la casilla del día anterior a la medición, de acuerdo con el día meteorológico (7 a.m.-7 a.m.) estipulado por la OMM. Por tanto, el registro de la lluvia en algunos casos debe ser moverse un día, dependiendo de la forma en que se hizo la observación en la lista.

Si no hay dato registrado se coloca “-9” en la BD y si llovió y no se anotó la medición se coloca “-8” en la BD, para indicar acumulados.

En el caso del pluviógrafo, se revisan las bandas y se procede a sumar la cantidad de lluvia (en milímetros) que fue registrada por hora (período 7 a.m.-7 a.m.).

De existir un pluviómetro en el lugar del emplazamiento del pluviógrafo, se comparan ambas precipitaciones, aplicando un factor de corrección que relacione la lectura de

ambos instrumentos para igualar los términos. Es decir, se obtiene un valor común representativo de la lluvia.

A la precipitación gráfica se le extraen intensidades acumuladas de 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 hora, 2 horas, 6 horas, y 12 horas. Estas mediciones se realizan buscando en la gráfica el mayor valor acumulado que puede estar en varias partes de la gráfica; todo esto se hace sobre la misma banda.

Después de realizado el procesamiento de los datos del PV y/o PG, son ingresados a la BD. A su vez, las bandas y hojas de campo se almacenan tanto en físico como en forma digital en carpetas ubicadas en el servidor de respaldos para contar con la disponibilidad de los datos originales.

- Estación meteorológica automática

La observación se realiza automáticamente de forma horaria y diaria a las 7:00 a.m., con intervalo de muestreo de 3 s. Se mide la cantidad de lluvia caída mediante un balancín de vaciado automático, medida por pulsos eléctricos con resolución de 0,1 mm, 0,2 mm o 0,254 mm, según el tipo de sensor.

Recibida la información que fue recolectada durante la gira de mantenimiento o por medio de acceso al Servidor, en caso de contar con sistema de transmisión de datos, se procede a realizar el procesamiento de datos.

El preprocesamiento, que consiste en la edición de los datos, revisión de formato y todo lo referente a la verificación de datos completos, se realiza de manera semiautomática mediante el Software para el CC de las EMA llamado MeteoQC (creado por el personal de DRMPD-IMN).

Haciendo uso de MeteoQC se realiza la verificación de las mediciones mediante varias pruebas de validación y una vez finalizada esta actividad, los datos se ingresan a la BD, así como el informe que reporta las anomalías encontradas.

La entrevista realizada mediante las herramientas de Google Forms (se pueden apreciar en los Anexos 1 y 2) a los funcionarios del IMN, encargados de la realización del procesamiento de datos y control de calidad, así como al personal a cargo del

mantenimiento, transmisión y equipo en general de las EM, tiene como fin identificar la estandarización de procesos, los razonamientos utilizados en el proceso de datos y actividades realizadas durante las giras de campo.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Área Gestión de Datos Meteorológicos

En el área de procesamiento de datos fueron entrevistadas cinco personas, cuya experiencia en el procesamiento y control de calidad de los datos oscila entre los siete meses y treinta años.

La realización de CC se distribuye según tipo de EM, de la siguiente forma: dos personas se encargan solamente de EMA, una persona solo de la EMM y dos personas de ambos tipos de EM.

El personero encargado del procesamiento de datos (PD) señala que, al recibir los datos, se depuran, se analizan y se ingresan a la BD. Durante el control de calidad a todas las EM, se utiliza como material de apoyo los siguientes recursos: bitácoras y boletines meteorológicos, mapas de isoyetas, noticias, imágenes satelitales, informes de gira, informes de control de calidad, hidroestimadores, radiosondeos, metares, climatología, datos históricos o correlación con EM cercanas.

En el momento de validar las mediciones, los entrevistados mencionan que cuando hay un valor sospechoso se indaga sobre el acontecer de un evento hidrometeorológico durante el periodo en análisis y/o se realiza una comparación de datos entre estaciones cercanas para verificar el dato.

Para el caso específico de una EMA, los funcionarios de DRMPD involucrados en el PD mencionan que se realiza un preprocesamiento del dato en donde se verifican los contenidos de los archivos en estudio y se extrae las series de tiempo de interés.

Luego se elaboran gráficas de cada parámetro meteorológico para estudiar el comportamiento de todas y cada una de las series de tiempo. Seguidamente, se analizan los archivos que no aprobaron las distintas pruebas de control de calidad que se encuentran incorporadas en la herramienta MeteoQC. En este punto, es

importante mencionar que tres de cuatro personas que utilizan este software, poseen un conocimiento nivel medio del mismo.

Según sea el caso, se contrastan los valores de cada serie de tiempo con las herramientas de apoyo indicadas anteriormente. De ser necesario, se aplican correlaciones espaciales entre estaciones vecinas. Algunos funcionarios, calculan estadísticos mensuales de los datos en proceso y comparan con las climatologías o estadísticos propios de la base de datos institucional, además realizan pruebas más rigurosas como conectividad del dato, análisis del estado del tiempo de la fecha y hora correspondiente, entre otros.

Con respecto al procesamiento de las EMM, se revisa que la información esté completa, que las lecturas sean razonables y se ajustan las gráficas de las bandas.

Así mismo, se procede a realizar la comparación con otras estaciones, ya sean EMA o EMM, se verifica la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos, se analizan las hojas de anotaciones de estaciones procesadas y se utiliza la BD como consulta de datos.

Pese a lo mencionado, las actividades relacionadas se ejecutan de acuerdo con el criterio del experto a cargo de este PD; es decir, el personal establece el manejo de los datos recibidos. Por ejemplo, puede ingresar los datos, tal y como se han recolectado o procesa los datos efectuando comparaciones e investigaciones sobre las condiciones meteorológicas. El hecho de que cada funcionario elige las acciones por tomar se fundamenta en la no implementación de un CC oficial para datos provenientes de EMM.

Con el fin de determinar si la precipitación medida por una EMA o una EMM es correcta se emplean los siguientes criterios:

- Comparación con otras EM.
- Cotejo con datos históricos.
- Revisión de informe de gira.
- Se considera la época del año.
- Verificación de instrumento en buenas condiciones.
- Visualización de gráficas de MeteoQC.

- Se considera el criterio de experto.
- Relación de la precipitación con otros parámetros físicos como: humedad relativa, temperatura del aire, radiación solar y presión atmosférica (solamente 2 de los funcionarios consultados realizan esta actividad).

¿Cuáles acciones se efectúan ante el conocimiento de la presencia de obstáculos importantes en el área de emplazamiento?

- Se conserva el dato (pero se marca sospechoso).
- No hay criterio de cambios.
- Comparación con EMM, con el fin de aplicar factor de corrección.
- Durante la próxima visita, tomar medidas como la eliminación de los obstáculos o al menos, detalles específicos del asunto y empezar con los trámites administrativos necesarios para solventar el inconveniente.

Ante el daño de un Instrumento-Sensor el personero del Área de Procesamiento de Datos puede proceder de la siguiente forma:

- Se elimina la serie.
- Se hace la relación con variables operativas.
- No hace nada.

Durante el PD es frecuente hallar datos sospechosos, que al ser validados se encuentra que las fuentes de error más comunes detectadas son: viento que supera los 35 km h^{-1} , obstrucción parcial o total del pluviómetro, vibraciones del poste donde está colocado el PV, sistemas de riego, mala conexión y oxidación del cable (PV automático), la no realización de las lecturas en los días y horas correspondientes, así como el hecho de improvisar lecturas (PV mecánico). Este último parámetro provoca que no exista el 100% de confianza en los datos medidos.

Se destaca que la pérdida de lluvia significativa o, al contrario, una cantidad de lluvia mayor de la esperada en una EMM, provoca que el experto sospeche de lecturas alteradas.

Además, ante la presencia de lluvia ficticia, se procede a eliminar los datos; sin embargo, esto no es reportado en los informes que se elaboran durante la validación de las mediciones.

¿Qué factores o tipo de resultados hacen creer que las mediciones no son fiables en la toma de datos y en los hallados en la BD?

- Valores extremos de precipitación.
- Repetición de datos por debajo de 1 mm.
- Datos que no coinciden con el ciclo anual de precipitación y/o con estadísticos mensuales esperados.
- No se realizaba CC.
- Errores propios de los procesadores (ingreso de los datos en forma incorrecta por error en la digitación manual en el PD de EMM o el ingreso de datos tal y como fueron recolectados, sin CC)

Área Red Meteorológica

En esta área también se entrevistaron a cinco personas, cuya experiencia en el mantenimiento de las EM varía entre los cuatro y cuarenta y dos años.

A continuación, se indican los procedimientos realizados durante la recolección de datos en una gira de mantenimiento según tipo de EM.

Estaciones meteorológicas automáticas

En cuanto a la recopilación de datos en una EMA, los funcionarios encargados indican que siguen los siguientes pasos:

- De existir una EMM en la misma parcela, se realiza una comparación de los datos.
- Se hace una verificación de las mediciones con sensores patrón.
- Se procede con una exploración de las fechas disponibles.
- Se revisan los datos mediante la comparación con un rango, el cual se determina según la experiencia de la persona funcionaria, de acuerdo con la variable y el lugar del emplazamiento.

- Se elaboran gráficos de los datos recolectados, así como la verificación de tendencias.
- Para el caso específico de la lluvia, se procede con la revisión visual del sensor y utilizando una brocha, se lava con agua y jabón para eliminar polvo o cualquier agente externo, incluyendo el sifón y la malla (si cuentan con ellos). En ocasiones, se desconecta para no causar pulsos eléctricos (posibles medidas de lluvia) que se almacenan en el logger. También se revisa que el embudo no se encuentre obstruido y se verifica el estado del balancín. Se realizan pruebas de simulación de lluvia, para determinar que el instrumento funciona correctamente (generalmente 4 activaciones del sensor).

Estaciones meteorológicas convencionales

En este caso, los funcionarios de la Red Meteorológica indican que:

- No siempre se hace la revisión de la papelería/bandas correspondientes.
- Se revisa la papelería recibida, se cuenta y se verifica que no falte información; es decir que, estén completos los meses o el periodo correspondiente, asimismo, se verifica que las hojas de campo cuenten con el registro de las lecturas y los datos estén anotados con puntos decimal.
- Se inspeccionan los rangos de las variables.
- En el caso de las bandas de pluviógrafo (PG), se observa la calidad del trazado de la tinta para así verificar si las plumillas están bien.
- En cuanto al PV convencional, se verifica que la probeta esté legible y no esté rota, que el pluviómetro no tenga fisuras por donde pueda filtrarse el agua recolectada y que el embudo no esté obstruido y/o sucio. Se verifica que esté bien colocado en la base, para que tenga el nivel adecuado y se confirma que el recipiente colector no esté rebalsado. Por último, se limpia con agua y con jabón.
- Con respecto al PG, se verifica que el instrumento no esté obstruido, ni presente fugas, se limpia y se lava con agua y jabón. Se procede a hacer una

prueba de calibración, para comprobar la graficación en las bandas de papel y su buen funcionamiento. Se ha detectado que los problemas más frecuentes durante el mantenimiento del medidor de lluvia son los siguientes: obstrucción por hojas, semillas, insectos, polvo y excremento de aves, corte de cable por mantenimiento del césped e interruptor quemado por descarga eléctrica en el PV automático, vegetación alta, hormigueros y panales dentro del equipo, desnivel del PV, cambios en la textura del suelo, cercanía de árboles o edificios, daño en el sifón, fisuras en el PV. En el caso particular del PG, este puede estar desajustado.

¿Cuáles son las medidas tomadas para la corrección de los posibles factores de error? Dentro de las primeras medidas se encuentra la reubicación y/o alineación del equipo meteorológico y la solicitud de poda o tala de árboles y vegetación.

También se procede a la capacitación y/o corrección al observador meteorológico para que reciba el entrenamiento correcto para la realización de las lecturas o cambio de las bandas.

Otras de las medidas tomadas es que a los PV modelo TB4M se les comenzó a colocar la malla (como filtro de hojas, semillas, entre otros) que tenían los PV modelo TR525. Se comenzó a proteger más la parte inferior del tubo de PVC por donde pasa el cable (ya sea colocando un tubo de metal o recubriendo con cemento). Y, por último, puede solicitarse un encercado para el instrumento, con el fin de evitar el ingreso de animales.

Pese a que se han realizado acciones correctivas, no todos los funcionarios cumplen con reportar o remendar la situación encontrada.

Los compañeros en ciertas ocasiones han consultado a los observadores sobre los procedimientos realizados durante la lectura de los instrumentos y han sido testigos de las malas prácticas de observación. Al igual que los funcionarios del área de procesamiento de datos, los compañeros de la red meteorológica destacan que las mediciones realizadas por los observadores no son 100% confiables, que las

observaciones no siempre se realizan y en ocasiones registran valores “falsos”, que es necesario contar con recurso humano para la realización de lecturas durante los fines de semana o los períodos de vacaciones.

Recomendaciones propuestas ante el análisis de los procedimientos realizados durante el mantenimiento, recolección y proceso de datos

Después de considerar los resultados anteriores se destaca lo siguiente:

1. No todos los funcionarios realizan las mismas consultas o utilizan el mismo material de apoyo para validar la información. Hace falta un proceso de estandarización e inclusive, es preciso establecer, como parte de un protocolo, el uso de algunas fuentes de información, en caso de ser necesario, y hacer referencia de su uso en los informes.
2. En cuanto a los procedimientos realizados durante el procesamiento de datos, no existe un esquema de trabajo a seguir, por lo que se sugiere un diagrama de flujo para posibles acontecimientos.
3. No se utiliza la opción de correlación espacial que es implementada en el programa MeteoQC. Se propone hacer algunos cambios para mayor facilidad y eficiencia de la herramienta.
4. Se aconseja tener material de apoyo y estadísticos a mano, lista de EM con alta correlación. También establecer un control de calidad más robusto y considerar algoritmos matemáticos que involucren relaciones entre parámetros meteorológicos y estadísticas calculadas.
5. Es importante considerar el metadato, en especial la exposición del PV.
6. Implementar sistema de abanderamiento y establecimiento de acciones a seguir.
7. En caso de daño en el instrumento-sensor, determinar un procedimiento para la eliminación de los datos.

8. Ante sospecha de malas lecturas en las EMM, investigar sobre el tratamiento de los datos por parte del observador meteorológico, así como su experiencia en campo.
9. Definir algunos parámetros para que sean incorporados en los informes de CC (es decir, temas que deben ser necesariamente mencionados, como, por ejemplo, el reporte de eliminación de datos por lluvia ficticia).
10. Durante las visitas de campo, no todos los funcionarios siguen los mismos procedimientos, especialmente en lo que respecta a la recolección de datos, por lo que es vital implementar procesos estandarizados.
11. Es importante establecer una rutina en relación con la verificación de los datos en campo, con el fin de detectar anomalías de manera oportuna, ya sea por un posible fallo en un sensor e inclusive alguna incongruencia en la toma de las lecturas por parte de los observadores meteorológicos.
12. La obstrucción del PV por hojas, insectos y la vegetación alta, entre otros, son los factores que generan mayor cantidad de datos erróneos, por lo que se debe de contar con el equipo necesario para solventar los posibles problemas durante la visita de campo
13. Se han tomado medidas para la corrección de las posibles fuentes de error, como la poda y/o corta de plantas, reubicación de equipo entre otros
14. La lectura de los instrumentos en algunas ocasiones no son 100% confiables. Por ello, se recomienda consultar sobre la forma en que se realizan las mediciones e inclusive impartir capacitaciones.
15. Se requiere capacitación para los observadores meteorológicos, con el fin de concientizar sobre la importancia de las mediciones.

3.4. Determinación de herramientas y control de calidad

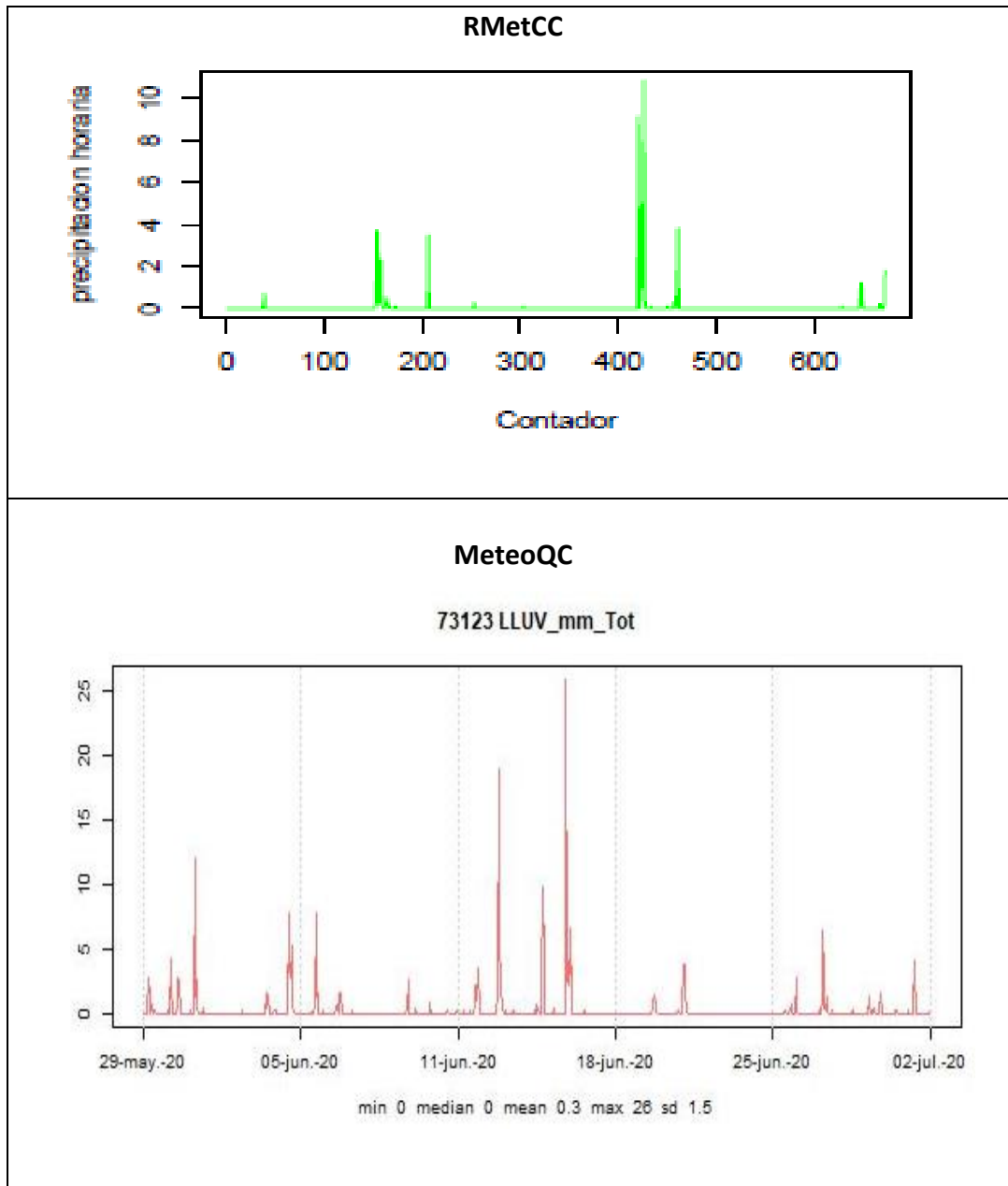
Durante la investigación se pudo encontrar que, en la realización del control de calidad, actualmente no existen pautas determinadas para la valoración de las mediciones provenientes de las EMM, a diferencia de los datos generados de las EMA, en donde se realiza un control de calidad con pruebas básicas.

Hace aproximadamente 25 años, cuando se empezó con la instalación de las EMA, los datos eran procesados de forma manual; se analizaban los archivos mediante hojas de cálculo y la aplicación de algunos filtros. Evidentemente, esta práctica, era fuente de error humano, y aunque entendible por el cambio tecnológico y falta de herramientas computacionales, no resultaba la mejor forma para la manipulación de los datos. Dada la situación, en el año 2013, se implementó RMetCC, un programa creado en R (un entorno de programación libre que se utiliza para el procesamiento y análisis estadístico de datos) por el personal de DRMPD, en donde ejecutaba la prueba de rangos (rangos ampliados en relación con los extremos de la variable meteorológica, conocidos en Costa Rica) y creaba gráficas para la visualización de los datos. Esta acción fue de gran importancia, pues constituyó un cambio importante en el procesamiento de los datos. Dos años más tarde, con la investigación, asistencia a talleres y cursos y bajo la necesidad de mejorar el control de calidad, RMetCC fue sustituido, por un Software también desarrollado por DRMPD y en el lenguaje de programación R, llamado MeteoQC, el cual es utilizado actualmente y representa un producto vital en la Gestión de Datos del IMN.

En la Figura 10 se muestra uno de los gráficos generados por RMetCC y uno de los gráficos generados por MeteoQC, en donde se destaca las diferencias entre ambos. Las dos representaciones corresponden a precipitación horaria, pero difieren en aspectos como por ejemplo el título del gráfico. RMetCC no indica la EM que se está figurando ni tampoco el eje temporal en estudio, sino que muestra un contador.

Una de las mejoras realizadas radica en la colocación de estadísticas del periodo en análisis.

Figura 10. Ejemplos de Gráficas Generadas por RMetCC y MeteoQC.



Fuente: Reportes generados por RMetCC y MeteoQC.

MeteoQC

Este cuenta con las siguientes pruebas de validación: revisión de fechas, redondeo, detección de grandes errores, pruebas de rangos, verificación de desviaciones estándar, revisión de valores repetido, coherencia en las máximas y mínimas, detección de radiación nocturna, pruebas de saltos consecutivos y correlación de las series.

De acuerdo con el instructivo IMN-DRMPD-INST-003 (Software para el Control de Calidad de Datos de Estaciones Meteorológicas Automáticas: MeteoQC), la herramienta cuenta con varias fases como lo son: edición de datos del logger, edición de archivos de la base de datos, control de calidad, gráficas de correlación, archivos para la base de datos.

Para el caso específico de la precipitación se aplicaron según:

- Revisión de fechas

Esta función completa las series de tiempo y elimina las fechas repetidas.

- Detección de grandes errores

Elimina los datos atípicos de las series de datos, utilizando los valores límites de la Tabla 10.

Tabla 10. Rangos por variables programados.

Variable	Rango (mm)
Lluvia Horaria	[0,150]
Acumulado 5 min	[0,30]
Acumulado 10 min	[0,60]
Acumulado 15 min	[0,90]
Acumulado 30 min	[0,120]
Lluvia Diaria	[0,500]

Fuente: Programa MeteoQC.

- Revisión de valores repetidos

Con estas funciones se detecta la cantidad de valores de repetidos tomando como parámetro 4 valores repetidos. En el caso de la lluvia se excluye los valores de cero, y se aplica para datos horarios y diarios.

- Gráficos

Aunque estos no es exactamente una prueba de validación, sí corresponde a una herramienta visual importante para la verificación de los datos.

Tal y como se muestra en la Figura 11, visualizar la distribución de precipitación, permite confirmar si responde o no a lo esperado (climatología y ciclo anual de precipitación). En la misma figura se presenta varios tipos de grafico: gráficos de líneas (permiten visualizar los cambios en el tiempo), histograma (muestra la distribución del conjunto de datos) y de cajas y bigotes (muestra la distribución de datos en cuartiles, resaltando el promedio y los valores atípicos), que proporcionan una mayor comprensión de lo estudiado.

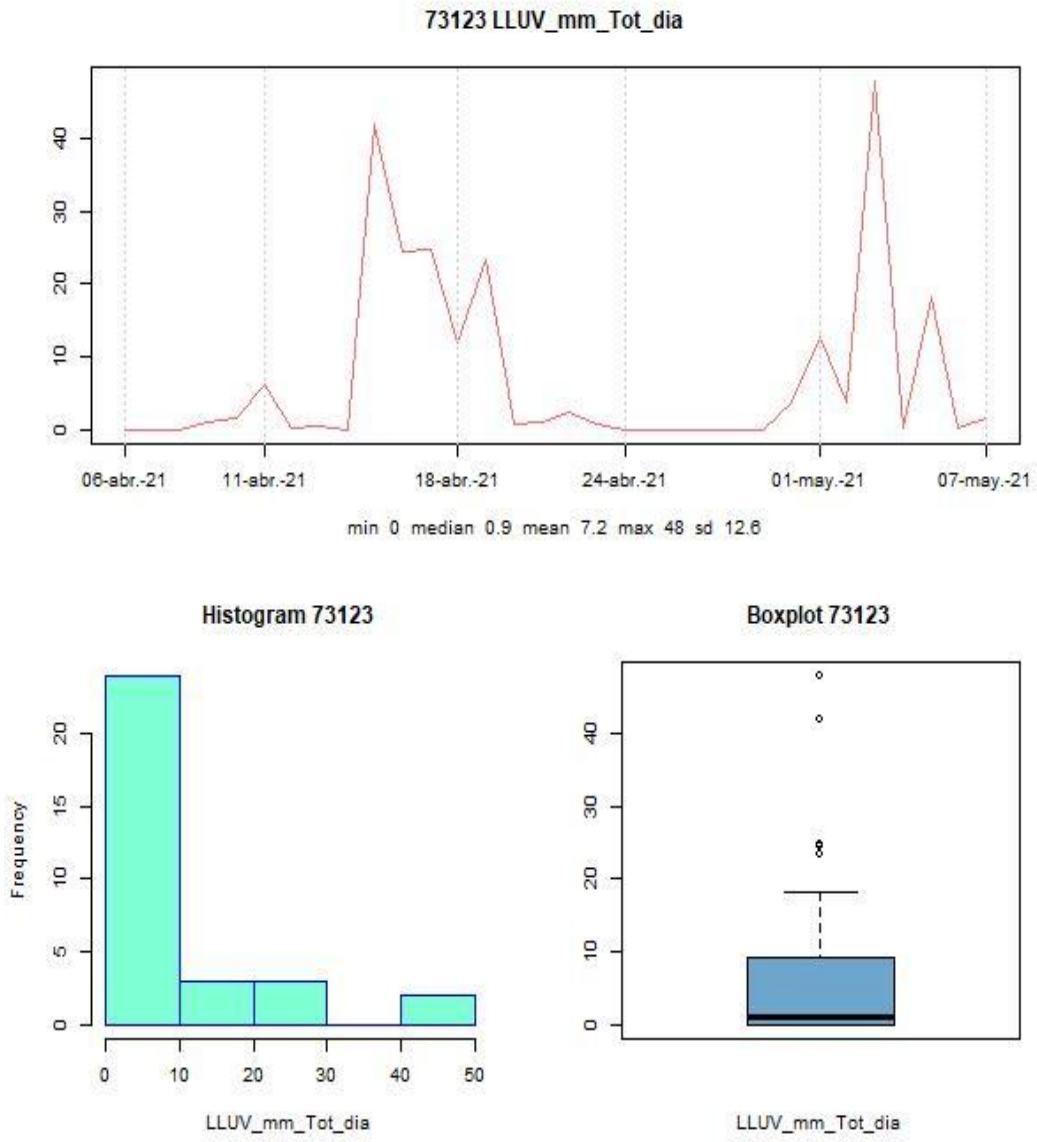
- Gráficas de Correlación

Estas gráficas no están implementadas de forma oficial en el control de calidad de las EMA. Se refieren a un complemento para realizar comparaciones absolutas de los valores de las variables que se pretenden analizar.

Con respecto al control de calidad de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas convencionales, no existe procedimientos estandarizados para la validación del dato; sin embargo, actualmente se hacen esfuerzos para la mejora continua de los procesos.

En la BD se utiliza el código “-9” para indicar datos eliminados, poniendo en evidencia la falta de sistema de abanderamientos para indicar datos sospechosos, entre otros.

Figura 11. Ejemplo gráfico de precipitación diaria generado por MeteoQC.



Fuente: Programa MeteoQC.

3.5. Visitas de campo

Se realizaron visitas de campo a todas las estaciones meteorológicas, a excepción de las EMM 84277 y 84006, por desinstalación de las mismas durante el periodo de la investigación.

Como primer punto a destacar, es que durante una inspección a los sitios de observación se debe autenticar toda la información identificada, por lo que se construyeron los documentos expuestos en los Anexos 3 y 4.

En los Anexos mencionados anteriormente se muestra una matriz de riesgo que sirve como insumo importante para la elaboración de la propuesta del Sistema de Gestión de Calidad. La elaboración de esta matriz requirió la investigación en temas de riesgo, tipos de riesgo, así como el concepto e identificación de las amenazas y vulnerabilidad.

3.5.1. Resultados obtenidos durante las visitas de campo

Esta sección expondrá los resultados obtenidos tras la visita y análisis de los puntos de observación. Las visitas de campo se llevaron cabo durante 17 días (ver descripción en la Tabla 11). Seguidamente, se muestran algunos casos interesantes y eventos que evidencian la necesidad de mejorar algunas situaciones.

Tabla 11. Visitas Estaciones Meteorológicas.

ID	Nombre	Tipo	Visita
73018	Linda Vista, El Guarco	M	17/2/2021
73024	Paraíso, Los Naranjos	M	16/2/2021
73035	Navarro, Cartago	M	16/2/2021
73048	Dulce Nombre	M	16/2/2021
73115	Capellades, Birris	M	3/3/2021
73117	San Juan De Chicao	M	25/2/2021
73123	ITCR, Cartago	U	17/2/2021
73129	Recope, Ochomogo	U	3/3/2021
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos	M	Cerrada
84010	Alajuela Centro	M	9/7/2021
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	M	30/4/2021

84091	E. C. De Ganadería, UTN	M	1/3/2021
84092	Tegucigalpa, Itiquis	M	9/7/2021
84111	Santa Lucía, Heredia	M	2/3/2021
84119	Guachipelín, Santa Ana	M	28/4/2021
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	M	25/2/2021
84135	Cerro Tapezco	M	7/5/2021
84139	CIGEFI	U	29/4/2021
84141	IMN, Aranjuez	U	27/05/2021
84151	Chagüite, El Roble, Santa Barbara	M	6/7/2021
84159	Hda. La Giralda	M	6/7/2021
84169	Aerop. Juan Santamaria, MP	U	15/7/2021
84183	Calle Vargas, Tambor	M	9/7/2021
84187	Fabio Baudrit	U	9/7/2021
84191	Recope, La Garita	U	14/7/2021
84277	La Aurora	M	Cerrada

Fuente: Elaboración propia.

Entre los principales problemas relacionados al PV se encuentran: base inestable (generando un desnivel en el instrumento), se aprecia abolladuras o deformación en el instrumento, el poste sobre el cual está montado se encuentra desnivelado y/o flojo y la boca del PV no se encuentra a una altura de 1,50 m.

Seguidamente, se consideran otras de las situaciones halladas durante las giras de campo: no hay registros históricos relacionados a la exposición del PV desde su instalación, el observador tiene poca experiencia en la realización de las mediciones, no hay un único observador, la probeta para la toma de las mediciones no se encuentra en buenas condiciones, existe como obstáculo para las mediciones: plantas, árboles, techo de galera.

Entre las recomendaciones generales se puede mencionar:

1. Reubicar o desinstalación del PV.
2. Podar árbol cercano.
3. Sustituir colector de acero inoxidable.
4. Reubicación del PV

5. Brindar capacitación a los observadores meteorológicos y al personal de RM sobre la toma de las mediciones.
6. Sustituir probeta
7. Consultar al observador sobre el manejo de los datos y mantenimiento del PV

A modo de ejemplo se puede apreciar que la EMM 73018 presenta una base inestable que provoca un desnivel en el PV, tal y como se observa en la Figura 12. El instrumento se encuentra instalado sobre un bloque de cemento, lo que provoca que aumente la altura sobre el nivel del suelo y trae como efecto que boca del PV se encuentre una altura de 1,68 m, cuando debería de encontrarse a 1,50 m. Lo recomendable es reubicar la EMM para obtener medidas confiables.

Figura 12. Pluviómetro Linda Vista, El Guarco 73018.



Fuente: Gira de Campo.

Entre las condiciones halladas, una de gran preocupación fue la observada en el punto de observación 73117, en donde la probeta para la toma de las mediciones se encontraba en pésimas condiciones, además de estar deteriorada por el paso del tiempo, quebrada y remendada. No se percibe con claridad la escala de medida y surge la duda sobre la forma en que se trataban y medían los datos, así como el mantenimiento respectivo del instrumental (ver Figura 13).

Figura 13. Probeta pluviómetro San Juan de Chicué 73117.



Fuente: Gira de Campo.

La instalación de los PV de forma estandarizada admite poseer una red meteorológica homogenizada que permite realizar comparaciones de precipitación entre EM, dado

que cumplen con las mismas condiciones. Un ejemplo del no cumplimiento de los requisitos de emplazamiento se encuentra las EMA 73129 y 84119, las cuales se puede visualizar en las Figuras 14 y 15, respectivamente.

El PV de la EM 73129 no cuenta con una base y su boca está ubicada a 2,64 m y en el caso de la EM 84119, el PV se encuentra a 3m del suelo, sobre el techo de una casa de habitación y el agua es recolectada en un recipiente, que es transportado por una manguera.

Figura 14. Ubicación pluviómetro RECOPE, Ochomogo 73129.



Fuente: Gira de Campo.

Figura 15. Instalación pluviómetro Guachipelín, Santa Ana 84119.



Fuente: Gira de Campo.

Para observar la condición de otras EM, ver el Anexo 7, donde se muestra algunas fotografías tomadas en las visitas de inspección.

A partir de la información recolectada en las visitas realizadas a las EMM, se confeccionan las Tablas 12 y 13, las cuales contienen notas relacionadas con los observadores meteorológicos y forma en que se toman las mediciones en campo. Esta documentación puede ser utilizada como metadato e inclusive para la toma y priorización de acciones, según los riesgos identificados.

Tabla 12. Información de ocupación de los observadores meteorológicos.

Metadato ID		Ocupación del Observador Meteorológico
ID	Nombre	
73018	Linda Vista, El Guarco	Regador
73024	Paraíso, Los Naranjos	Operaria en la Empresa
73035	Navarro, Cartago	Agricultor
73048	Dulce Nombre	Regador
73115	Capellades, Birris	Mantenimiento
73117	San Juan De Chicao	Agricultor
84010	Alajuela Centro	Pensionado IMN
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	Mantenimiento de Jardín
84091	E. Centroamericana de Ganadería UTN	Oficiales de Seguridad
84092	Tegucigalpa, Itiquis Alajuela	Pensionada
84111	Santa Lucia, Heredia	Capataz/Trabajador de Finca
84119	Guachipelín, Escazú	Ama de casa/ Jefe Unidad Informática, IMN
84125	Finca 3, Llano Grande	Miscelánea/Regador
84135	Cerro Tapezco	Ama de Casa
84151	Chagüite, El Roble, Sta. Bárbara	Ama de Casa
84159	Hda. La Giralda	Trabajador de la Finca
84183	Calle Vargas, Tambor	Pensionado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Metadatos programa de observación de estaciones meteorológicas convencionales.

Metadato ID		Programa de Observación					
Número	Nombre	Cantidad de Observadores	Años de Experiencia	Hora de la Medición	Anotación de la Medición	Rol de Trabajo Días feriados, fines de semana ...	Rol de Medición
73018	Linda Vista, El Guarco	1 Observador	12 años	6:30 a. m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	-
73024	Paraíso, Los Naranjos	Varios Observadores	1 año 5 meses	6:00 a.m.	Anotación mismo día	Siempre se hacen las observaciones (Feriados y Fines de Semana Oficial de Seguridad)	Oficial de Seguridad (Fines de Semana)
73035	Navarro, Cartago	1 Observador	30 años	7:00 a.m			
73048	Dulce Nombre	1 Observador	5 meses	6: 30 a.m-7:00a.m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	-
73115	Capellades, Birris	3 Observadores	10 años	7:00 a.m.	Anotación mismo día	Siempre se hacen las observaciones	Mantenimiento de Turno
73117	San Juan De Chicoa	1 Observador	30 años	6: 30 a.m-7:00a.m.			
84010	Alajuela Centro	1 Observador	30 años	Forma Horaria	Banda Meteorológica	Siempre se hacen las observaciones, cambio de banda en forma diaria	-
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	1 Observador	22 años	7:00 a.m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	Trabajador de Hacienda (Vacaciones)
84091	E. Centroamericana. de Ganadería UTN Balsa	7 Observadores	20 años	6:30 a. m.	Anotación mismo día	Siempre se hacen las observaciones	Oficial de Seguridad de Turno
84092	Tegucigalpa, Itiquis Alajuela	1 Observador	54 años	7:00 a.m.-9:00 a.m.	Anotación mismo día	Siempre se hacen las observaciones	-
84111	Santa Lucia, Heredia	1 Observador	30 años	7:00 a.m.	Anotación mismo día	Siempre se hacen las observaciones	Trabajador de Finca (Vacaciones)

84119	Guachipelín, Escazú	2 Observador	34 años	7:00 a.m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	Rodolfo Sánchez González (Ausencia)
84125	Finca 3, Llano Grande	2 Observador	2 meses	6:30a.m-7:00a.m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	Hugo Coto Zuñiga (Domingos)
84135	Cerro Tapezco	1 Observador	25 años	7:00 a.m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	
84151	Chagüite, El Roble, Sta. Bárbara	1 Observador	30 años	7:00 a.m		Siempre se hacen las observaciones	
84159	Hda. La Giralda	2 Observador	30 años	7:00 a.m		Siempre se hacen las observaciones	
84183	Calle Vargas, Tambor	1 Observador	30 años	7:00 a.m.	Anotación día anterior	Siempre se hacen las observaciones	

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla anterior denota de colores tres columnas, con el objetivo de destacar el grado de relevancia de la información en la calidad de los datos, los colores fueron asignados según criterio personal e indican, verde: muy bueno, amarillo: bueno y rojo: malo.

La cantidad de observadores (columna 3) en la calidad de las observaciones es muy importante ya que garantiza la fiabilidad en la toma de las mediciones. El número recomendado de observadores por cada EM es uno, ya que se minimizan los posibles errores humanos. La columna 3 establece en color verde: un observador, amarillo: dos o tres observadores y rojo: más de tres observadores, de acuerdo con el criterio determinado anteriormente.

Así mismo, la columna 4 señala de verde a rojo, la importancia de la cantidad de años de experiencia, en el aseguramiento de la calidad de las observaciones. En color verde se destaca que tener más de 20 años realizando las observaciones, garantiza datos confiables, un nivel intermedio se presenta de color amarillo (más de 10 años) y en color rojo, efectuar la toma de las mediciones en un periodo menor a un año, el cual que representa un mayor riesgo de cometer más errores en esta tarea.

En cuanto a la columna 5, también se asignan los colores en función de la hora a la que se realizan las mediciones, que según el día meteorológico debe ser a las 7 de la mañana. Por eso, se señala en verde si los datos son realizados a la hora indicada, en amarillo si la toma de los datos es a las seis y treinta de la mañana, y si no es a ninguna de las horas señaladas anteriormente, se establece como roja. El no ejecutar las observaciones a la misma hora, no es una buena práctica ya que la serie de datos puede no ser considerada homogénea (pueden existir otros factores para valorar una serie climática homogénea) y en el caso de utilizar un grupo de estaciones vecinas, con la finalidad de evaluar algún evento observado en una estación particular, puede que no se refleje en las otras.

Acciones a tomar

Gracias a las visitas efectuadas y las correspondientes recomendaciones tras la valoración de algunas de las situaciones encontradas, el personal de IMN tomó las medidas respectivas para mitigar el riesgo de contar con mediciones erróneas. Hasta este momento se han considerado las EM presentadas en la Tabla 14.

Tabla 14. Estaciones meteorológicas consideradas para minimizar la obtención de datos sospechosos.

ID	Nombre	Actividad	Acción
73018	Linda Vista, El Guarco	Reubicación	En Proceso
73024	Paraíso, Los Naranjos	Reubicación	Realizado
73035	Navarro, Cartago	Reubicación	En conversaciones
84010	Alajuela Centro	Reubicación	Realizado
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	Reubicación	En conversaciones
73115	Capellades, Birris	Poda/Corte de Vegetación	Realizado
73117	San Juan De Chicao	Cambio Probeta/Reubicación	Realizado/En proyecto
73129	Recope, Ochomogo	Reubicación	En conversaciones
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos	Cierre	Realizado

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las Figuras 16 y 17, el PV ubicado en Capellades de Cartago fue uno de los puntos de observación, que tras conversaciones con el personal del área Red Meteorológica y encargados del lugar del emplazamiento, se realizaron las acciones respectivas para contar con mediciones de precipitación confiables.

Figura 16. Pluviómetro EMM 73115, antes del corte de la vegetación.



Fuente: Gira de Campo.

Figura 17. Pluviómetro EMM 73115, después del corte de la vegetación.



Fuente: Gira de Campo.

3.6. Análisis de datos

En este apartado se describen los resultados del análisis de datos, tras la descarga y estudio de los datos diarios.

Con el fin de determinar y diseñar procedimientos de validación para verificar la calidad de los datos de precipitación contenidos en la Base de Datos Institucional, como primer paso se obtuvieron los promedios y extremos mensuales del total de lluvia por mes y por año para cada estación meteorológica, en el periodo 1999-2019, con el objetivo de tomarlo en cuenta en la propuesta y/o detectar inconsistencias en la información.

De acuerdo con lo mencionado, se analizan estos datos, y se evidencia que existe información disponible en la BD que es sospechosa, generando así duda y desconfianza en la calidad de las mediciones diarias, a causa de una mala observación y/o deficiencias en el procesamiento de los datos.

Comparando con los eventos hidrometeorológicos (Tabla 5) se consideran algunos valores como anómalos. En la Tabla 15, se muestra un resumen de lo encontrado; estos valores son calificados como sospechosos porque a pesar de que corresponden al cálculo de promedio o extremo, no obedecen a la climatología mensual de la región y/o EM.

Por ejemplo, no es de esperar un promedio de lluvia para el mes de enero, en la provincia de Alajuela (EMM 84159), con un valor de 161,6 mm o inclusive hallar un valor mínimo mensual de 0 mm para un mes de octubre en la EMA 73129, RECOPE (Ochomogo).

Por otro parte, se llega a la conclusión, de que el dato crudo (original) no está completamente correcto, dado que estos resultados presentados parten de datos diarios u horarios.

Tabla 15. Datos sospechosos generados a partir del estudio de los promedios y extremos mensuales en el periodo 1999-2019.

EM	Dato	ENE	FEB	ABR	JUN	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
73024	Promedio Mensual	103,7								131,3
84159	Promedio Mensual	161,6	79,7							214,4
73024	Extremo: Mínimo Mensual			0	0,2					
73129	Extremo: Mínimo Mensual			1		0,6	0,6	0	6,2	
84006	Extremo: Mínimo Mensual			2						
84111	Extremo: Mínimo Mensual					0				
84135	Extremo: Mínimo Mensual			0						
84191	Extremo: Mínimo Mensual						0,3			
84092	Extremo: Máximo Mensual						771,1	1017,6		
84111	Extremo: Máximo Mensual							969,4		
84151	Extremo: Máximo Mensual						840,9	936,4		
84159	Extremo: Máximo Mensual	489,8	293,3				983,4	969,3		438,8

Fuente: Base de Datos Institucional.

Dada la situación anterior, para el análisis de los datos diarios se establecieron las siguientes acciones:

- Agrupar Estaciones Meteorológicas por subregión.
- Calcular correlación entre estaciones por grupo.
- Calcular por mes por cada año por cada EM los estadísticos utilizando las mediciones diarias: mediana, media, desviación estándar, primer cuartil, tercer cuartil, máximo y mínimo.
- Elaborar gráficos de dispersión, de cajas.
- Para cada mes, determinar los valores promedio, máximo y mínimo del dato diario.
- Determinar, como método de control, los datos faltantes (-9), cantidad de ceros por mes, datos extremos aislados, valores consecutivos iguales con valor del mínimo de resolución.
- Investigar las principales causas asociadas a los datos anómalos (sensor/instrumento, ubicación, evento hidrometeorológico, etc.).

Antes de profundizar en el análisis y los cálculos, es importante recordar que en esta investigación se pretende determinar la representatividad de los datos de precipitación en la Región Central. Ésta es particularmente importante, porque muestra una gran variabilidad espacial y temporal. Consecuentemente la frecuencia y distancia entre las observaciones deben ser apropiadas para obtener mediciones que representen los cambios en el tiempo y en el espacio del fenómeno meteorológico de interés con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios.

¿Cómo se puede comprobar la representatividad de las condiciones del tiempo imperante y climatología?

Mediante la aplicación de métodos estadísticos y normativas por medio de la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad, se podrán señalar errores que puede ser suscitados durante la toma de muestras. Al mismo tiempo, se pueden definir medidas preventivas que eviten dar lugar a diferencias importantes entre lo medido y el dato real, pues el método de medición de las precipitaciones es relevante para obtener muestras representativas de un fenómeno en la región.

Considerar la distancia entre estaciones meteorológicas en el establecimiento de los algoritmos matemáticos para las pruebas de validación, permitirá la detección de eventos meteorológicos y constatar si las condiciones atmosféricas imperantes corresponden al ciclo anual de precipitación de acuerdo con la región climática en cuestión, comprobando así si el área es representativa.

Al realizar la evaluación conjunta de los equipos e intervalo de medición, así como su exposición obtendremos no solo el valor de la lluvia, sino la representatividad de la observación. Incluso si al realizar el análisis entre estaciones meteorológicas no existe representatividad, la homogeneidad de los datos permitirá realizar investigaciones de índole climático.

3.6.1. Agrupamiento y correlación de EM

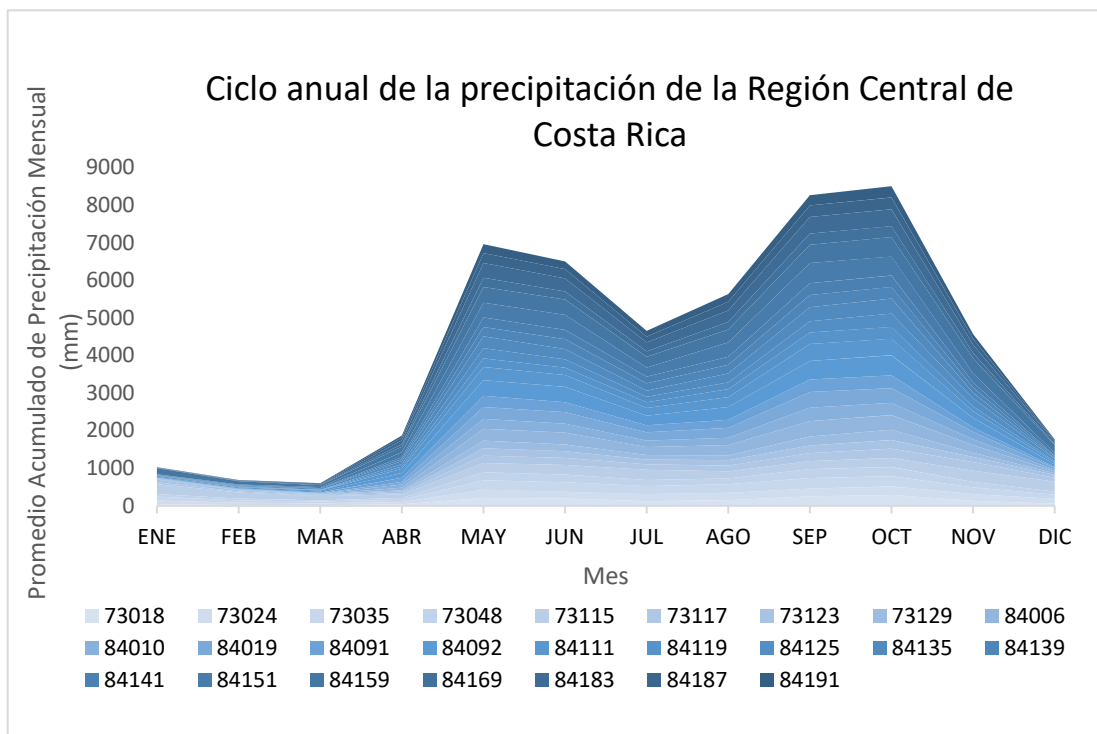
La selección de los puntos de observación propone un número suficiente de estaciones meteorológicas que permite ilustrar si existe un patrón geográfico determinado y, por consiguiente, condiciones climáticas similares. A partir de los promedios mensuales de precipitación, el estudio de la ubicación geográfica, las condiciones topográficas señaladas en el mapeo de los puntos de observación y creación de una animación en tres dimensiones (3D), se agrupó por subregiones las EM con el fin de analizar las tendencias, climatología, detección de valores sospechosos y la valoración de posibles mediciones erróneas.

Para efectos de esta investigación, se agrupan las EM, considerando una distancia menor o igual a 10 km entre cada punto de observación, con diferencia de elevación no mayor a los 100 m y sin relieve importante, como por ejemplos las montañas que puedan generar condiciones climáticas diferentes.

El comportamiento anual de precipitación juega un papel importante en la toma de decisiones en la clasificación de las EM, por lo que inicialmente se presenta en la Figura 18, los promedios de los acumulados mensuales de lluvia de todos los puntos de observación, que, aunque varían de forma importante entre ellas, muestran el

mismo patrón y representan bastante bien la época seca y lluviosa, mostrando el dominio del Régimen Pacífico en la zona de estudio.

Figura 18. Ciclo anual de la precipitación de la Región Central.



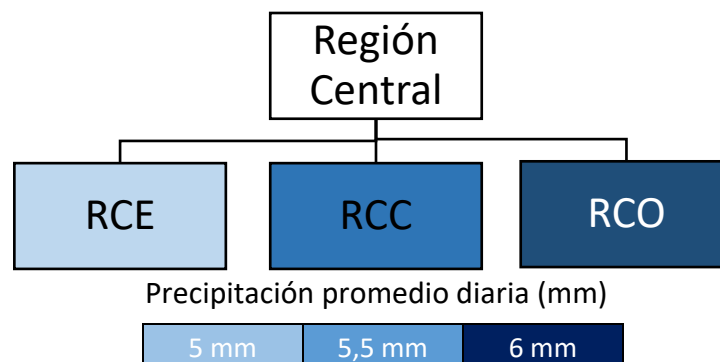
Fuente: Elaboración propia

Subregiones y clasificación

Con el propósito de mejorar el control de calidad y considerar las series de datos, la Región Central se divide en 3 subregiones: Este, Central y Oeste, tal y como se señala en el esquema de la Figura 19, donde se denotan con RCE, RCC y RCO respectivamente. Estas a su vez se fraccionan en subgrupos para comparar y utilizar como referencia en la Prueba de Validación de Consistencia Espacial y eventualmente proponer rangos para la validación de las mediciones. Las Figuras 20, 21 y 22 indican la subclasificación, que se basa en los promedios diarios mensuales y ubicación geográfica. Estas figuras señalan que cada subregión puede contener EM que presentan acumulados de precipitación muy similares entre ellas, por lo que resulta muy práctico establecer una relación entre sí. Los colores señalados van en función de la cantidad de lluvia media mensual (cuanto más celeste sea, más pequeño es el valor y cuanto más morado esté representado, mayor es el valor).

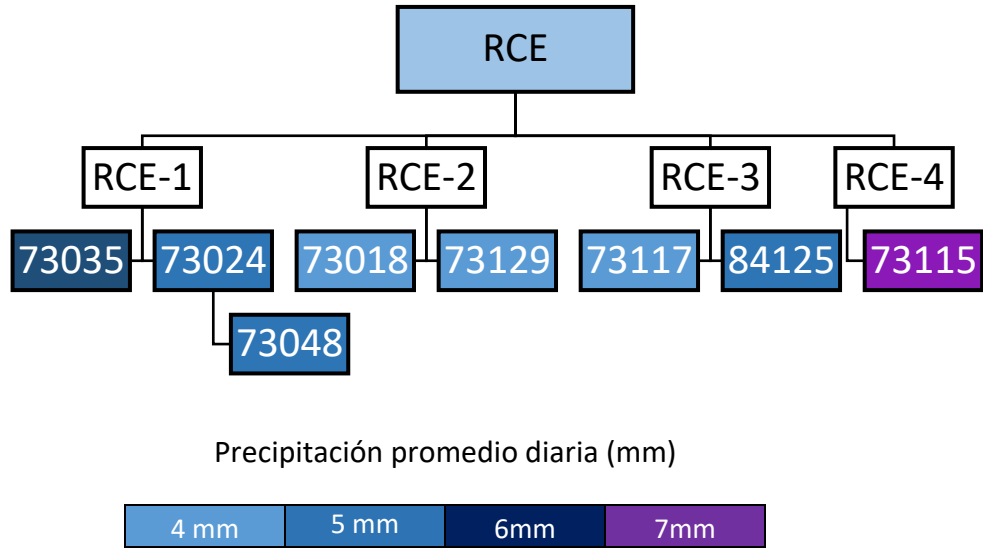
Se calculó el coeficiente de correlación lineal, para medir el grado de relación que existía entre los conjuntos de datos, para todos los pares analizados el resultado de correlación lineal es positivo, es decir se mueven en el mismo sentido, cuando aumenta una, la otra también lo hace y viceversa. Otro aspecto importante es que los valores obtenidos son mayores a 0,9; indicando una fuerte correlación entre la variable.

Figura 19. Clasificación Región Central.



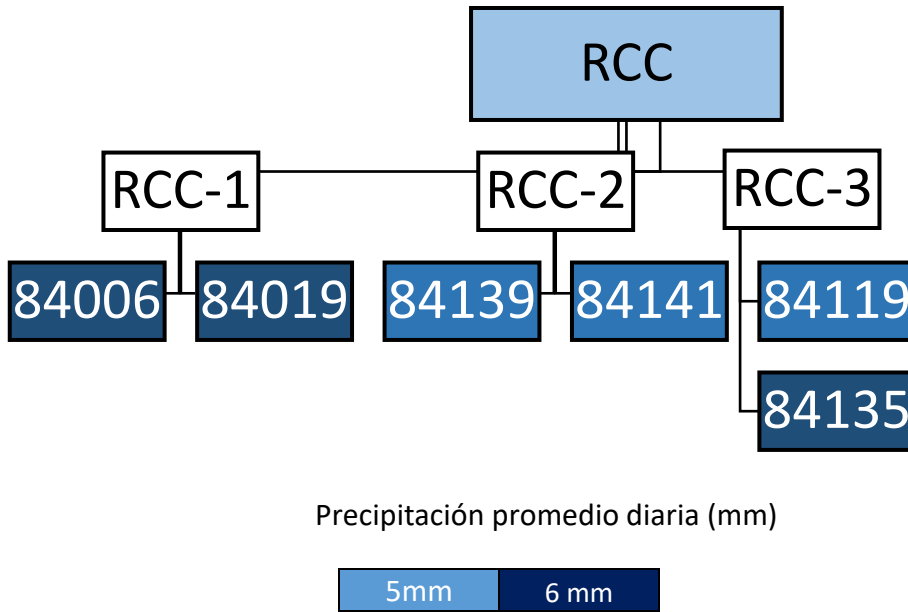
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Clasificación de las EM de la Región Central Este.



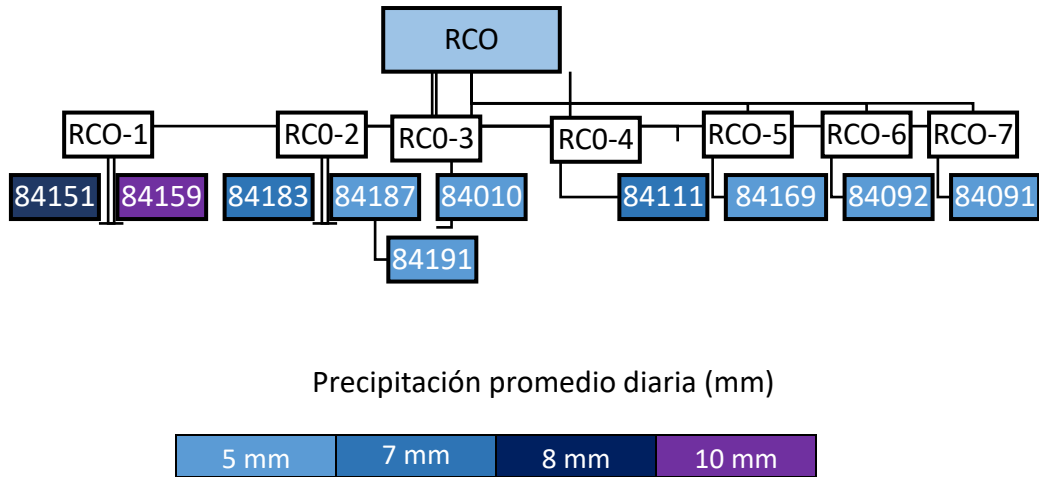
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Clasificación de las EM de la Región Central Oeste.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Clasificación de las EM de la Región Central Central.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Estudio de las medidas diarias

En la Tabla 16, se muestra la climatología mensual (promedio del acumulado mensual) para la Región Central del país. Esta fue obtenida de la BD; sin embargo, si se desean usar estos datos como referencia para la comparación del dato diario mensual y la estadística histórica, no resulta una buena práctica, ya que toma en cuenta toda la zona, sin consideración de aspectos importantes como el relieve, topografía entre otros.

Existen diferencias importantes de acuerdo con la ubicación geográfica de cada punto de observación, razón de la clasificación realizada. Además, durante el análisis se pudo notar la dispersión tan fuerte del conjunto de datos diarios.

Tabla 16. Climatología diaria de precipitación en mm de la Región Central
1999-2019.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
48,9	33,6	31,1	83	35	292,4	29,7	251,3	368,2	371,8	20,6	80,2

Fuente: Base de Datos Institucional.

Durante el análisis exploratorio, se descubrió que los datos diarios descargados de la base de datos Institucional presentaron datos sospechosos e inconsistencias. A continuación, se presenta Tabla 17, que muestra las EM en el periodo de estudio que manifestaron anomalías, clasificadas como datos faltantes, datos consecutivos iguales y datos sospechosos.

Tabla 17. Estaciones Meteorológicas que presentan anomalías.

EM	Datos Faltantes	Datos Consecutivos Iguales	Datos Sospechosos
73024	●		●
73035			●
73115	●		
73117			●
73129		●	●
84006			●
84019	●		
84119	●	●	
84135	●		●
84151	●		●
84159			
84183			
84191			

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de esta última categoría, se resaltan mediante la Tabla 18 los datos diarios erróneos detectados de acuerdo con las estadísticas realizadas, el análisis del historial de mediciones, y el comportamiento de la precipitación diaria-mensual por año, junto con la valoración de eventos hidrometeorológicos.

Tabla 18. Datos diarios sospechosos encontrados durante el análisis.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2006												73117
												0,5 mm
2007												84135
												0 mm
2009												84135
												0 mm
2010				84006								84135
				106,5 mm								0 mm
2012												84135
												0 mm
2013			73035									
			111,6 mm									
2014												84135
												0 mm
2016								73129	73129	73129		
								0 mm	0 mm	0 mm		
2017				73024								
				0 mm								
2018												73129
												0 mm
2019												84135
												0 mm

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se destacan valores mayores a 100 mm y mediciones de 0 mm; éstas últimas, obedecen al acumulado máximo de lluvia, medido en un mes y año particular.

Por ejemplo, la EMA 73129 mide de forma consecutiva 0 mm por día durante todo el mes (agosto, setiembre y octubre); la EMA 84135 revela como máxima precipitación del mes de diciembre un acumulado de 0 mm.

¿Que hace que los escenarios mencionados (días sin registros, valores de ceros consecutivos, mediciones atípicas mayores a los 100 mm) sean considerados como datos errados?

En realidad, todos los casos suscitados fueron indagados y no existen documentos o evidencia del motivo de estas situaciones. De la mano de la investigación y lectura de boletines meteorológicos, noticias, artículos de las condiciones del tiempo imperante, sensores e instrumentos, la inspección de los datos para el establecimiento de los rangos para la prueba de validación en la propuesta de control de calidad requirió de la determinación de estadísticos tales como: cuartiles, máximos y mínimos.

Para cada EM, por cada año, por cada mes, se calculó el mínimo, primer cuartil, mediana, media, tercer cuartil, máximo y desviación estándar diaria. Ver ejemplo en Tabla 19.

A partir de la información generada, se establecen los rangos mencionados anteriormente, lo cuales resultaran útiles en el establecimiento de límites de control dentro de las pruebas de validación. Un ejemplo se presenta en la Tabla 20, la cual muestra los valores diarios de la media, media máxima, el intervalo a considerar en la propuesta de Control de Calidad y los datos extremos.

Tabla 19. Ejemplo estadísticos EM 84125 Finca 3, Llano Grande.

Cuenca	Estación	Año	Mes	Min	1st_Qu	Median	Mean	3er_Qu	Max	sd
84	125	1999	1	0	0	0	0,13	0,00	2,50	0,50
84	125	2000	1	0	0	0	1,20	0,85	14,40	2,90
84	125	2001	1	0	0	0	1,30	1,05	15,20	3,26
84	125	2002	1	0	0	0	2,02	0,00	49,30	8,91
84	125	2003	1	0	0	0	0,43	0,35	4,90	1,03
84	125	2004	1	0	0	0	0,05	0,00	1,70	0,31
84	125	2005	1	0	0	0	1,54	0,75	13,40	3,33
84	125	2006	1	0	0	0	1,18	0,45	14,80	3,00
84	125	2007	1	0	0	0	0,06	0,00	0,90	0,19
84	125	2008	1	0	0	0	0,10	0,00	1,50	0,37
84	125	2009	1	0	0	0	0,72	0,00	10,50	2,16
84	125	2010	1	0	0	0	1,65	0,00	33,20	6,27
84	125	2011	1	0	0	0	0,45	0,00	10,50	1,94
84	125	2012	1	0	0	0	0,47	0,00	9,90	1,82
84	125	2013	1	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
84	125	2014	1	0	0	0	0,59	0,20	7,90	1,78
84	125	2015	1	0	0	0	0,92	0,05	18,30	3,39
84	125	2016	1	0	0	0	0,13	0,00	3,50	0,63
84	125	2017	1	0	0	0	0,59	0,00	18,00	3,23
84	125	2018	1	0	0	0	3,72	4,50	40,50	8,20
84	125	2019	1	0	0	0	0,05	0,00	1,70	0,31
Promedio						0	0,82	0,39	12,98	2,55
SD						0	0,87	0,97	13,02	2,46
MAX						0	3,72	4,50	49,30	8,91
MIN						0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Ejemplo información generada EM 84125 Finca 3, Llano Grande para las pruebas de validación.

	Media	Media Max	Intervalo		Dato Extremo	
			Límite Inferior	Límite Superior	Año	Valor
Enero	0,8	13,0	0	49,3		
Febrero	0,5	9,1	0	59,4		
Marzo	0,4	6,9	0	29,2		
Abril	2,0	21,4	4,2	57	2012	80,5
Mayo	8,7	52,1	23,5	60	2017	105,5
Junio	7,6	46,4	12,5	60	2003	89,4
Julio	4,7	38,5	7,9	50	2005	96,6
Agosto	6,1	39,7	5,3	72		
Septiembre	10,1	53,7	21	60	2004	107,3
Octubre	11,6	57,6	32,3	65	2009	118
Noviembre	7,3	44,9	17	60	2004	112,2
Diciembre	2,2	25,2	0,9	30	2003	83,2

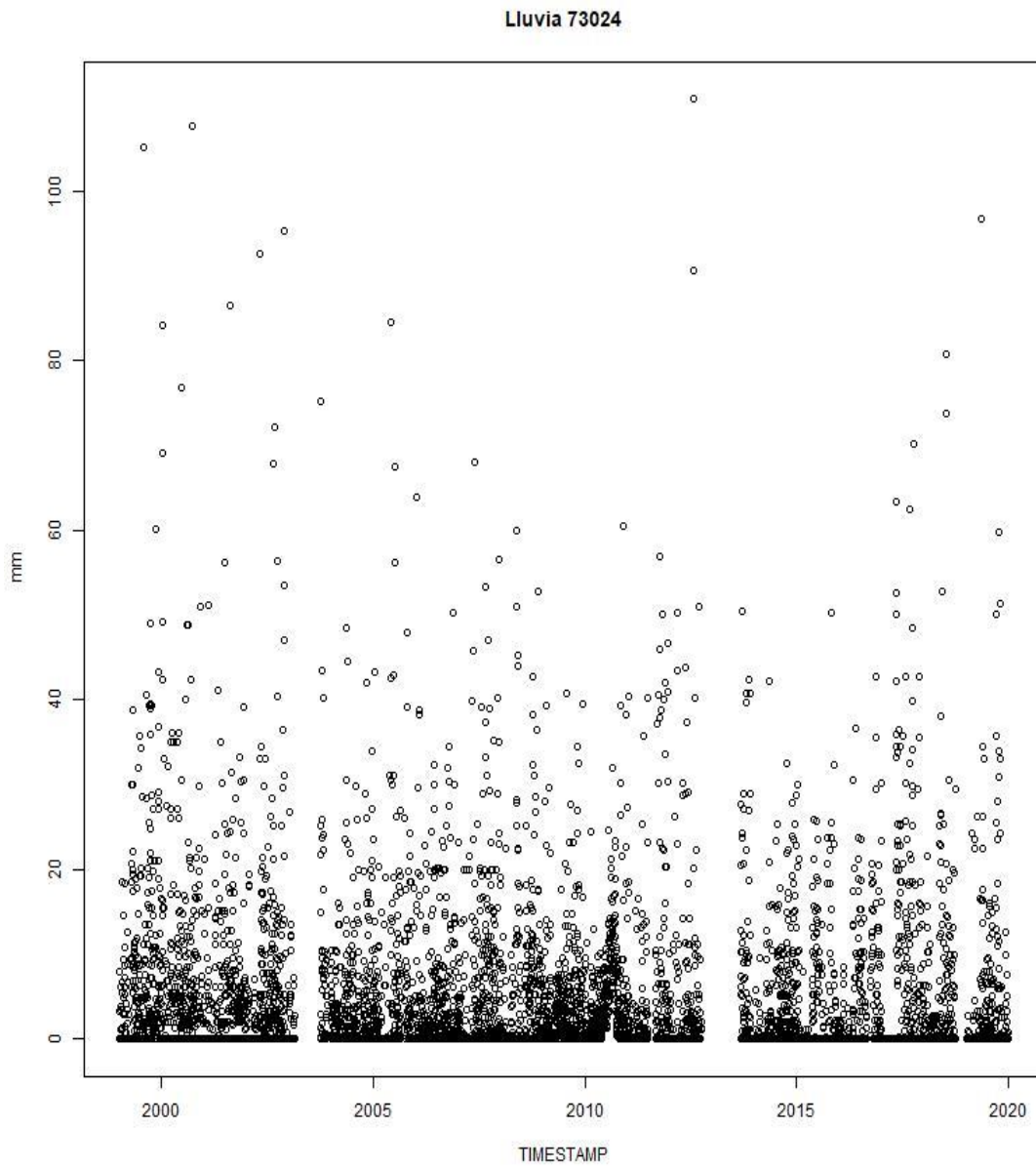
Fuente: Elaboración propia.

Como parte del uso de herramientas de visualización de la información y hacer más evidente la detección de inconsistencias y los datos extremos, se generaron gráficos de dispersión y caja de bigotes por cada pluviómetro.

Al utilizar estos métodos visuales, también se proporciona de una mayor comprensión de patrones en la precipitación.

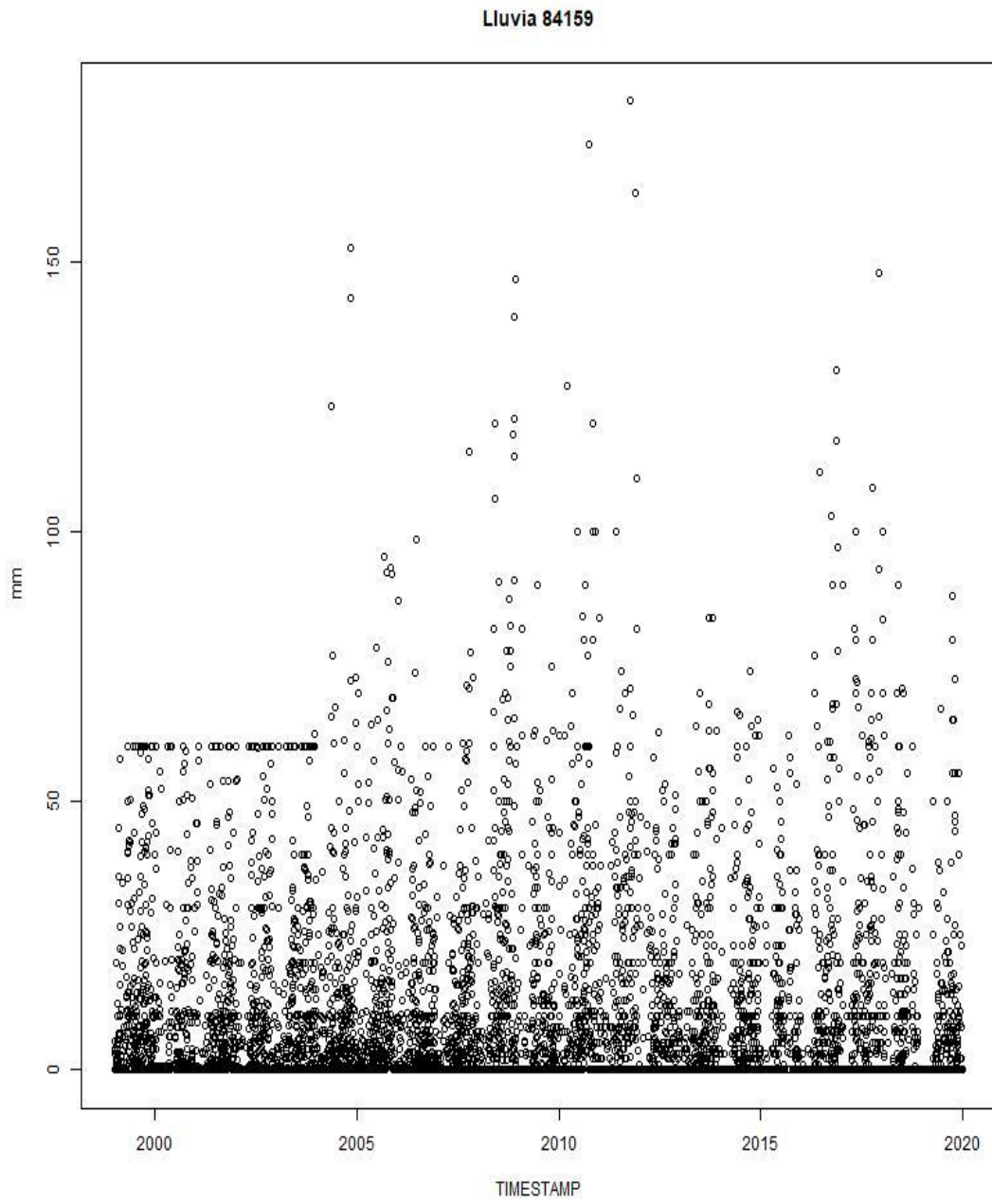
Por ejemplo, un gráfico como el de las Figuras 23 y 24, representa un gráfico de dispersión para las EM 73024 y 84151 durante el periodo 1999-2019, en donde se visualiza la relación entre la lluvia diaria registrada y el tiempo. Para el caso particular de estas figuras, la representación se vuelve relevante dado que es fácil la visualización de periodos faltantes, datos aislados, datos extremos e inclusive datos repetidos en forma consecutiva.

Figura 23. Precipitación diaria 73024.



Fuente: Elaboración propia.

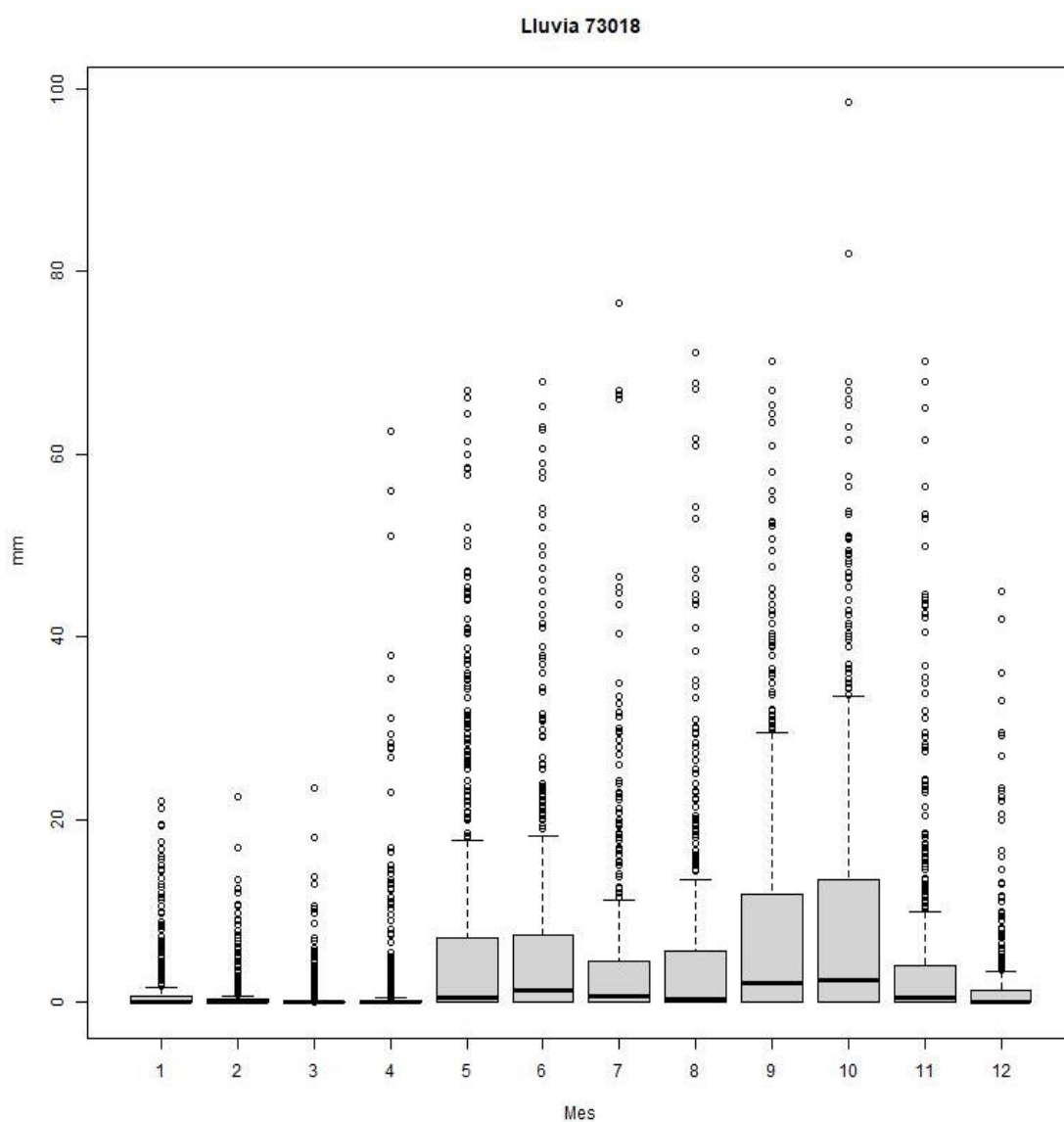
Figura 24. Precipitación diaria 84159.



Fuente: Elaboración propia.

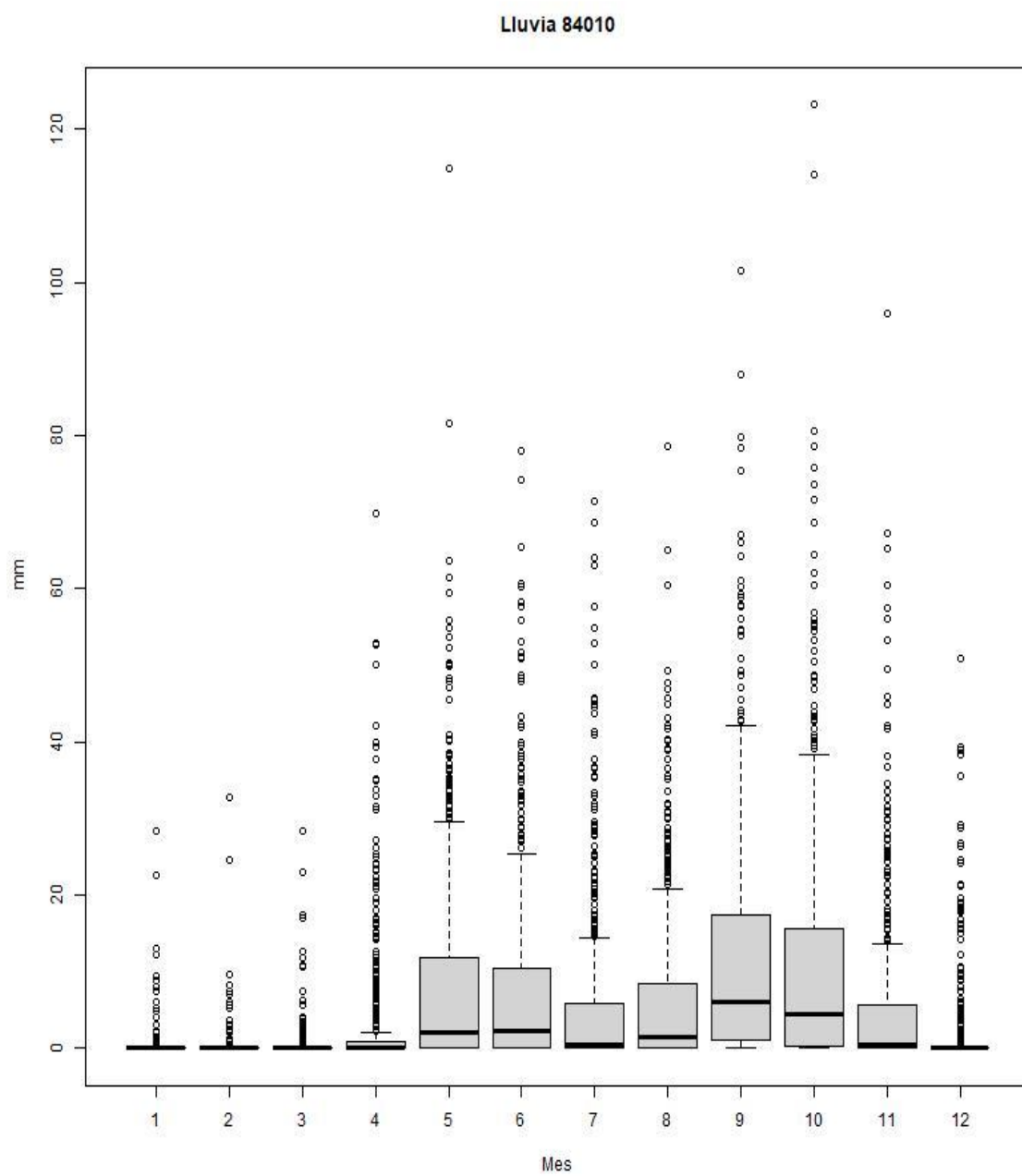
Otra herramienta de gran utilidad corresponde a los diagramas de cajas y bigotes, tal y como se muestra en las Figuras 25 y 26, ya que resultan una manera conveniente de mostrar visualmente los datos diarios del periodo de estudio, agrupados por mes, mediante el uso de cuartiles. Mediante este tipo diagrama, resulta fácil comprender el comportamiento anual de la lluvia e indicar su variabilidad fuera del cuartil superior e inferior, fomentando la investigación de los valores atípicos.

Figura 25. Representación de caja de bigotes de precipitación diaria mensual 73018.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Representación de caja de bigotes de precipitación diaria mensual 84010.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Categorización de las estaciones meteorológicas

Después de realizar el análisis exploratorio de los datos, investigar y comprobar los diferentes procesos que se realizan para contar con datos disponibles en la BD, se procedió a categorizar las estaciones meteorológicas como **A, B o C** (A representa muy bueno, B representa bueno y C representa malo). Además, se clasificaron las actividades involucradas en la generación de los datos y se les asignó un valor numérico.

Es importante mencionar que la categorización se basó en varios rubros, y que es vital profundizar en los motivos de cada valor asignado.

Los resultados obtenidos nacen de analizar los datos diarios y su confiabilidad, a partir de las consultas realizadas a los funcionarios del DRMPD y, por supuesto, de las inspecciones de campo.

Es sustancial identificar los riesgos inherentes en cada EM y asociarlos a cada actividad/proceso, para poder así evaluar, accionar y mitigar los posibles impactos.

En el capítulo IV de este trabajo, se describirá con detalle la manera de realizar la categorización y todo lo relacionado a la Gestión de Riesgos.

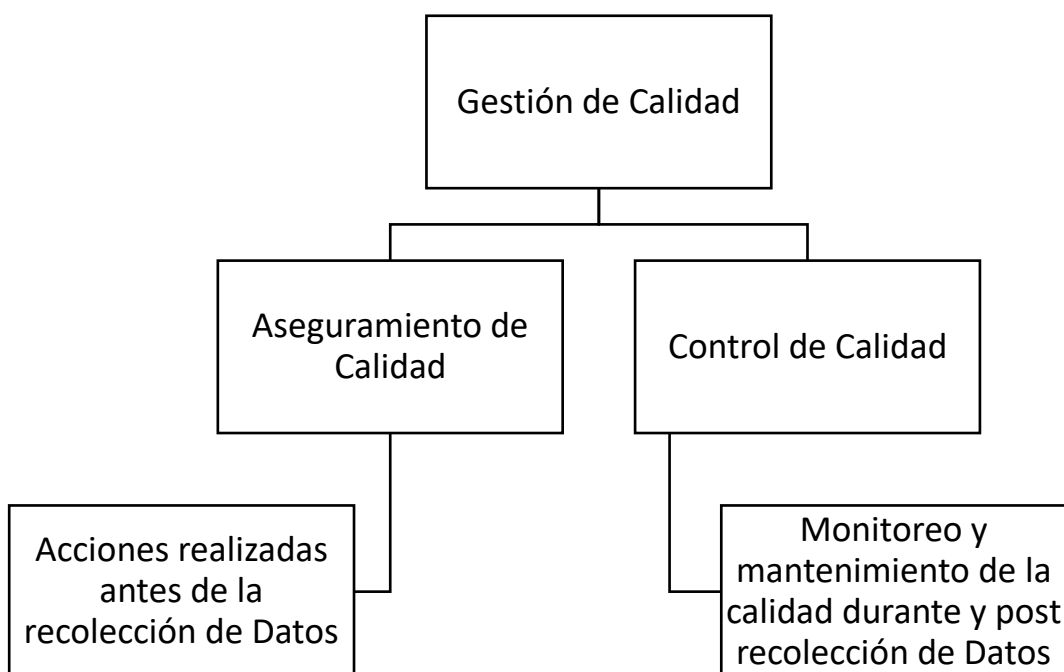
El Área de Gestión de Datos Meteorológicos de DRMPD tiene como objetivo principal generar mediciones confiables, por lo que resulta una buena práctica determinar los riesgos asociados, su impacto y probabilidad, esto porque el riesgo puede afectar de manera adversa la consecución del objetivo buscado.

En este trabajo de investigación se propone la identificación de los riesgos (según la actividad ejecutada para la generación de dato) y la creación de una matriz de riesgos, permitiendo asignar un valor a cada actividad y finalmente su categorización, tal y como se destaca en la sección Categorización de las estaciones meteorológicas y matriz de riesgo del capítulo IV.

CAPÍTULO IV
PROPUESTA SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD

La Propuesta de Sistema de Gestión de Calidad pretende dar a conocer los pasos necesarios para asegurar la calidad y realizar control de las mediciones de precipitación. Es de suma importancia comprender los diseños de las herramientas e instrumentos que se van a utilizar durante el desarrollo de las actividades en pro de la calidad y no menos importante considerar la diferencia entre aseguramiento de calidad y control de calidad tal y como se muestra en la Figura 27.

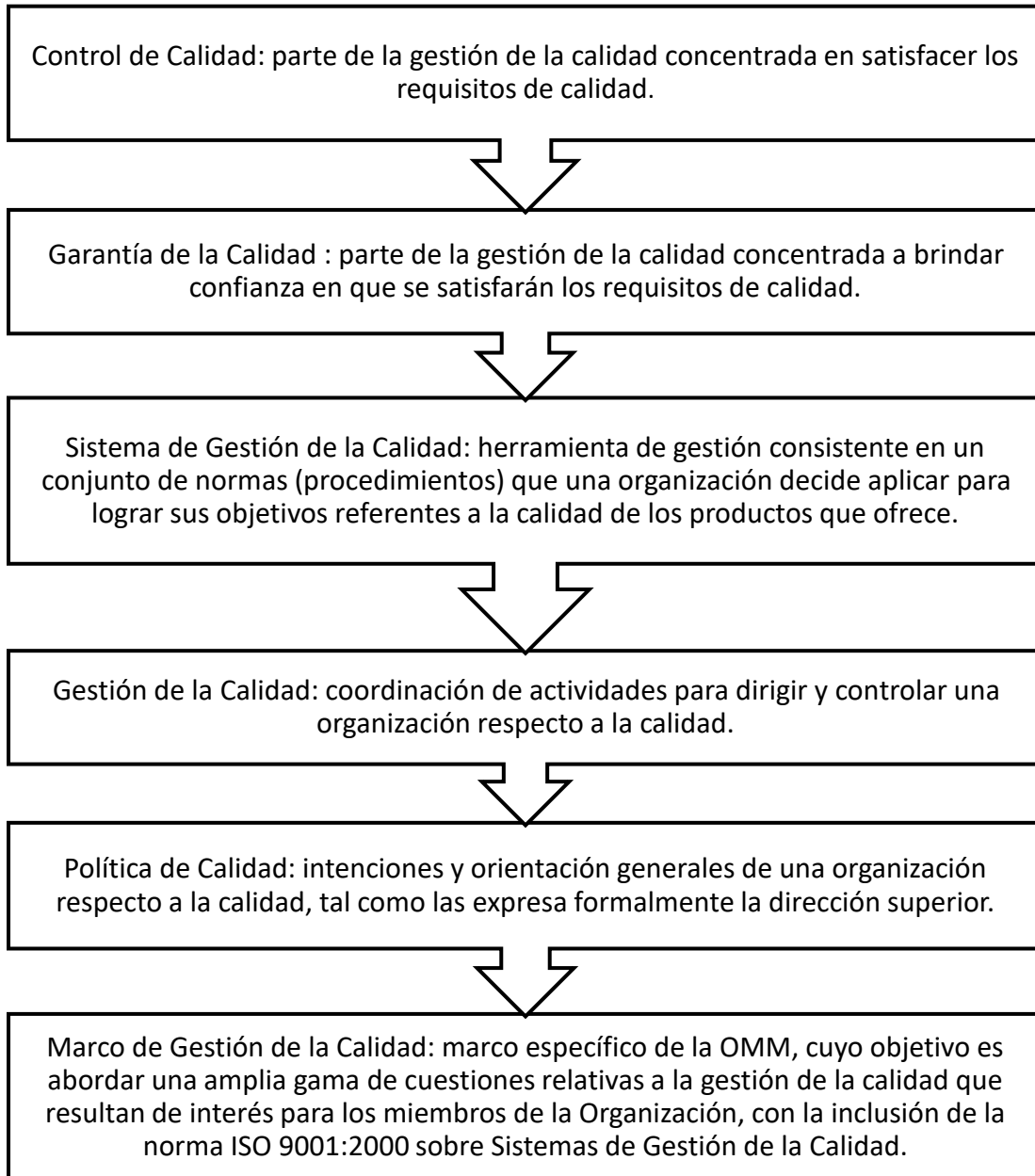
Figura 27. Aristas de la Gestión de Calidad.



Fuente: Elaboración propia.

Antes de presentar la propuesta, en la Figura 28 se incluyen algunos conceptos tomados de la Guía OMM-N°1100 (2017), para facilitar el entendimiento de las acciones a tomar.

Figura 28. Conceptos relacionados con El Sistema de Gestión de Calidad.



Fuente: Elaboración propia.

Para asegurar la calidad es necesario:

- Desarrollar un protocolo para los procesos involucrados, desde la instalación del equipo hasta la generación de las mediciones.
- Elegir y preparar instrumentos de seguimiento y evaluación.
- Desarrollar procedimientos en función de la generación, recolección y procesamiento de los datos de lluvia, creando manuales, guías e instructivos de operación.
- Capacitar al personal, familiarizando a cada miembro del equipo con los procedimientos bajo su responsabilidad.
- Certificación de entrenamiento de los miembros del equipo para realizar un procedimiento específico.

Propuesta del Sistema de Gestión de Calidad

Una vez valorados los errores, las inconsistencias, analizados los datos e identificados los riesgos, se procede a elaborar la propuesta metodológica para la implementación de un Sistema de Gestión de Calidad.

Un requisito imprescindible para ofrecer servicios meteorológicos y climáticos de calidad es implementar medidas que contribuyan a desarrollar niveles de eficiencia. Dentro de las estrategias a seguir es crear un Sistema de Gestión de Calidad, que permita coordinar, mejorar los procesos y procedimientos que se están realizando antes, durante y después de la generación de los datos de precipitación y así optimizar los productos y/o servicios.

El Sistema de Gestión de Calidad (SGC) comprende elementos tales como:

- Estructura de los procesos.
- Documentación.

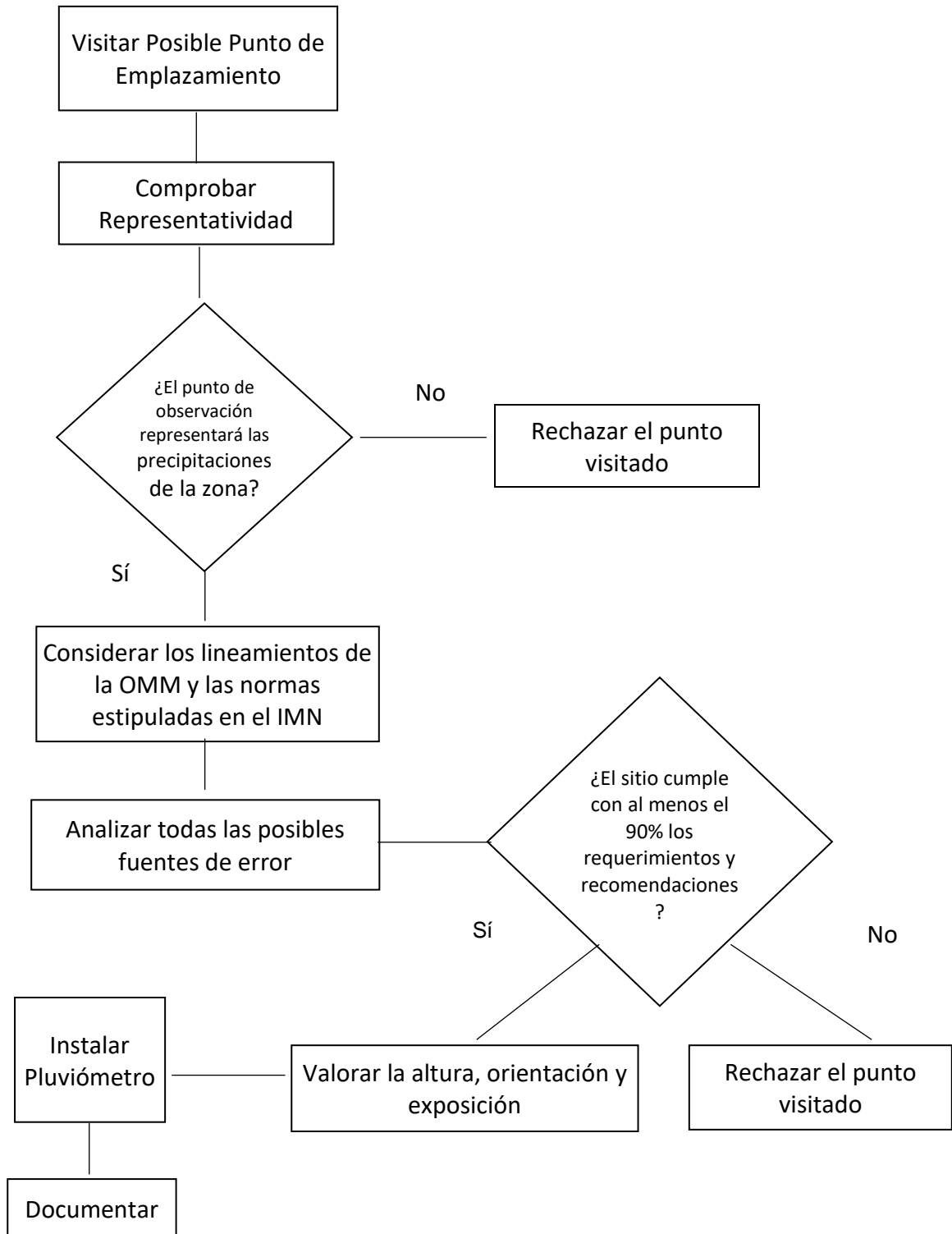
Para alcanzar el mayor nivel posible de uniformidad y estandarización de procedimientos iniciaremos con los lineamientos para la instalación de los equipos.

4.1. Instalación de pluviómetros

Una vez valorada la distribución de la Red Pluviométrica, se procede a instalar los instrumentos/sensores, tomando en consideración un primer análisis del punto de observación.

En seguida se presenta un diagrama de flujo, creado según experiencias obtenidas durante las visitas de campo, cuyo objetivo es facilitar el análisis de los procesos y buscar oportunidades de mejora continua.

Figura 29. Diagrama de flujo de la instalación de pluviómetros.



Fuente: Elaboración propia.

Tal como se señala en el mapeo anterior, una vez elegido el sitio para la instalación del pluviómetro se debe considerar la altura, orientación y algunos aspectos en relación con la exposición.

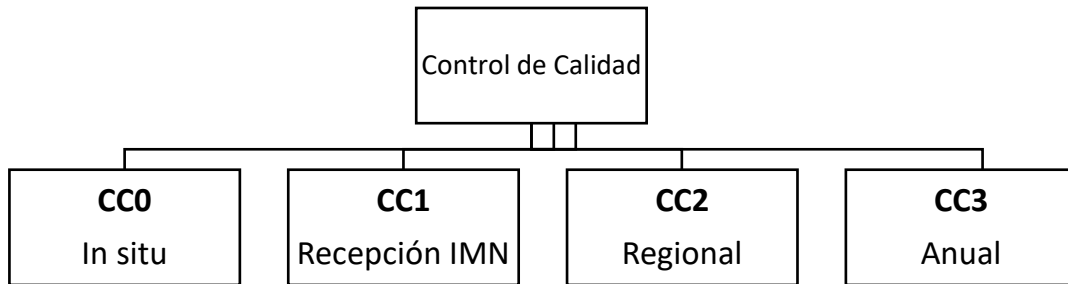
Considerando lo estipulado por la OMM, algunas pautas establecidas en el IMN y los riesgos inherentes que se identificaron después de la inspección de los puntos de observación, se recomiendan considerar como requisitos los siguientes aspectos:

- Que la velocidad del viento al nivel de la boca del instrumento/sensor sea lo más pequeña posible.
- Si el emplazamiento lo permite, el pluviómetro deberá estar protegido del viento en todas las direcciones; sin embargo, hay que tener especial cuidado con objetos como hileras de árboles, edificios que aumenten la turbulencia en el sitio del emplazamiento.
- La altura de los posibles obstáculos sobre la boca del pluviómetro deberá ser de por lo menos la mitad de la distancia entre estos y el medidor de precipitación.
- Se recomienda que los obstáculos se sitúen a una distancia del pluviómetro igual a cuatro veces sus respectivas alturas.
- Evitar las pendientes y los suelos inclinados, especialmente si coincide con la dirección predominante del viento.
- La zona que rodea al medidor de lluvia debe estar nivelada.

4.2. Niveles de Calidad

Generados los datos, se propone un control de calidad por niveles según se muestra en la Figura 30.

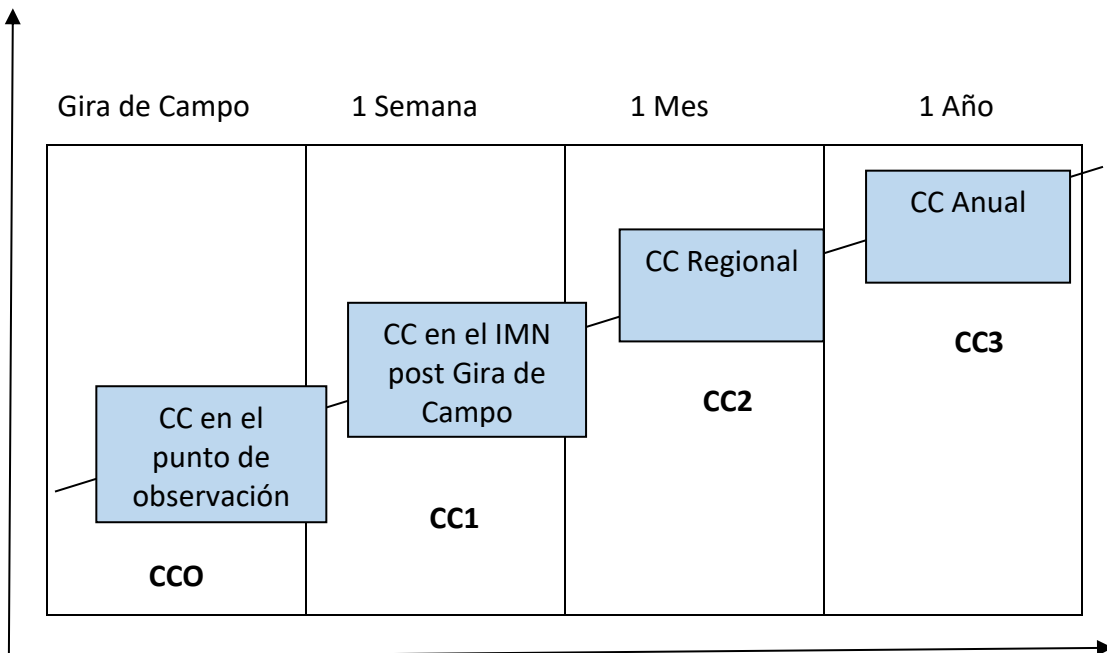
Figura 30. Propuesta niveles de calidad.



Fuente: Elaboración propia.

Se propone implementar los niveles de calidad de la figura anterior de acuerdo con lo expuesto en la Figura 31. La idea es contar con un rol de trabajo para garantizar su efectividad. Más adelante se explicará con detalle cada nivel y su forma de ejecución.

Figura 31. Rol de trabajo para la implementación de los niveles de calidad.



Fuente: Elaboración propia.

CCO: Control de calidad in Situ

Este control de calidad pretende implementar procedimientos de CC desde que se generan los datos, ya se forma manual o automática; es decir, seguir los lineamientos necesarios en el lugar de adquisición de los mismos (in situ), así como también verificar errores y subsanarlos durante la visita de campo.

De acuerdo con la OMM en la Guía de Prácticas Climáticas (2011), el control de calidad in situ deberá comprender también el mantenimiento de la exposición normal de los sensores/instrumentos, del emplazamiento y de los procedimientos correctos para leer los instrumentos y verificar las representaciones autográficas. Se promueve como buena práctica implementar en el campo, un Control de Calidad Básico. La propuesta consiste en dos módulos:

1. Procedimiento de Control de Calidad de los datos brutos

Como primer aspecto importante a considerar es tener en cuenta el último dato recolectado y/o ingresado a la base de datos, para así centrar el análisis de datos en un periodo en particular.

En esta etapa se plantea, independiente el tipo de medidor de precipitación, lo siguiente:

- Verificar valores diarios extremos existentes, distinguiendo los acumulados diarios que se esperan según corresponda a la climatología, de acuerdo con la época y región.
- Confrontar la coherencia interna de la secuencia de las observaciones, así como la coherencia entre fecha y hora, verificando datos faltantes y el orden lógico de los datos.

Pluviómetro Convencional y Pluviógrafo

En el caso particular de los instrumentos, es importante revisar las hojas de campo y bandas, por ejemplo, que los datos estén completos, verificar la claridad en los números anotados y confrontar los espacios en blanco.

Si existe duda en las mediciones, indagar sobre los procedimientos realizados durante la lectura de los instrumentos.

Pluviómetro Automático

Para este caso particular, una manera de facilitar el proceso de validación de la información en campo, es la utilización de un software como R, para la lectura de datos y visualización de la información.

Es vital asegurarse que la resolución de la variable medida concuerde con la del pluviómetro, según su modelo y tamaño de la boca.

Se debe comprobar que el número de pulsos y el multiplicador adecuado genere la salida de datos correcta.

No menos importante, se deben revisar los algoritmos utilizados en la obtención de la lluvia, así como que la variable a medir corresponda a un total y que el muestreo horario corresponda a 1200 valores (20 muestras por 60 min, con frecuencia de muestreo cada 3 segundos), tal y como lo estipula el IMN.

Comprobar que el dato medido en el momento de la visita corresponda al estado del tiempo actual.

2. Procedimientos de Control de Calidad en relación con el mantenimiento, emplazamiento y exposición de los equipos de medición de lluvia

El mantenimiento es esencial para evitar el deterioro y comprobar el buen funcionamiento de los sensores e instrumentos, mediante la detección de posibles problemas como equipo descalibrado, la no transmisión de la señal eléctrica, cables cortados o desconectados, probeta en mal estado o imprecisas, deterioro, golpes, deformaciones en el PV entre otros.

El otro punto, no menos importante es considerar la instalación y su exposición, ya que es determinante en la generación de datos confiables, por lo que se debe verificar la nivelación, altura del equipo, determinar posibles fuentes de error como el crecimiento de vegetación, construcción de infraestructuras, etc.

CC1: Control de calidad en el IMN

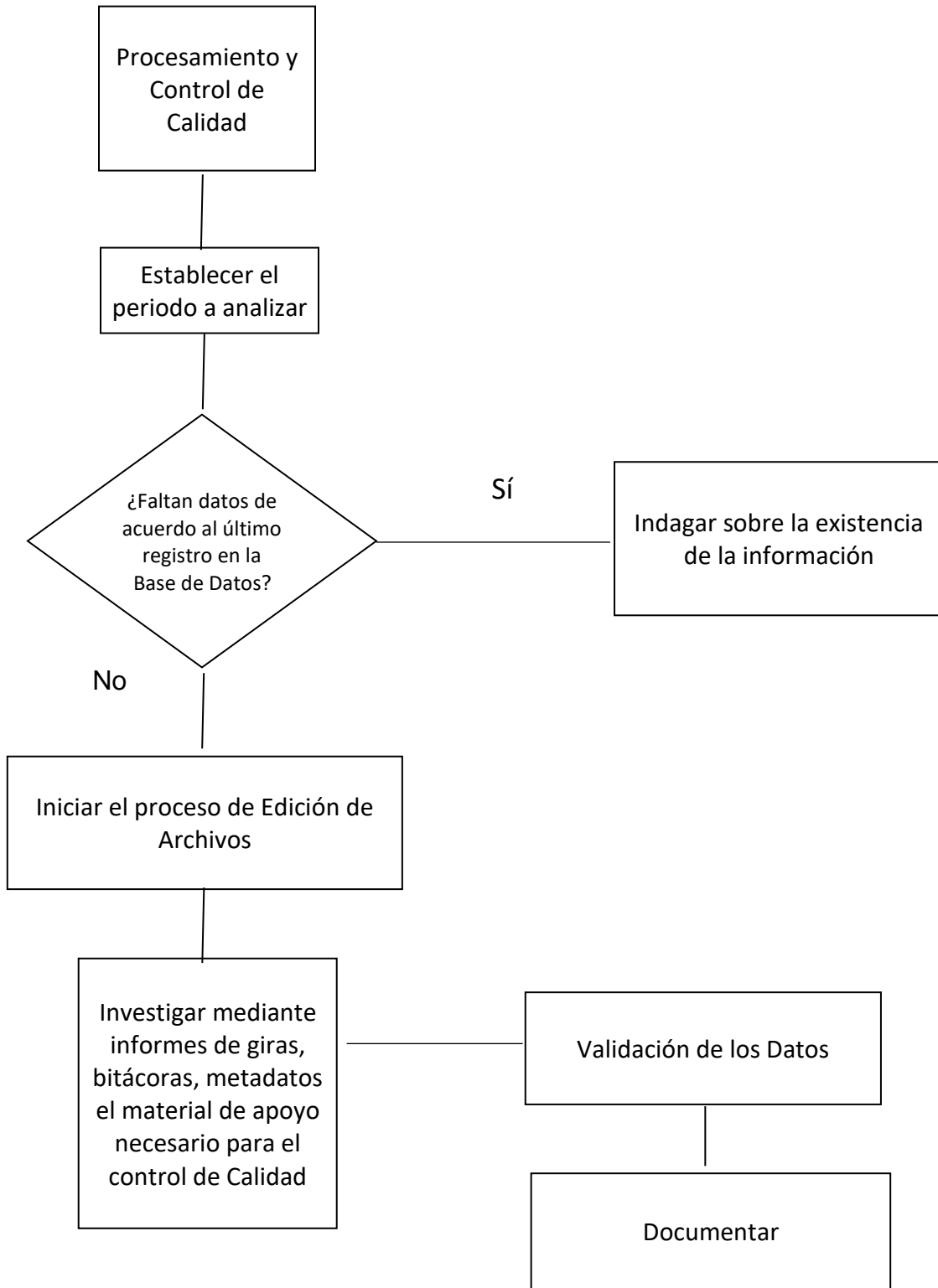
El área de Gestión de Datos del IMN cuenta con procedimientos establecidos para el respectivo procesamiento y control de calidad de los datos (recolectados durante una visita de campo o mediante la transmisión de datos).

Sin embargo, es vital señalar algunas pautas para que exista homogeneidad y estandarización en las actividades realizadas por parte del personal encargado. Para este proceso se recomienda en términos muy generales, para cualquier tipo de medidor de precipitación, efectuar el procedimiento señalado en la Figura 32.

Una buena práctica en este control de calidad es primero verificar la información disponible, y confrontar con el último registro en la base de datos para así establecer el paso siguiente y tomar las medidas pertinentes en el caso de poseer datos faltantes ¿Qué debe considerarse en caso de existir “pérdida de datos”?

- Revisar nuevamente las carpetas donde se almacenan los datos, con el fin de comprobar que existe la información con número/nombre de estación, incluso en un periodo diferente.
- Para el caso de las hojas de campo que llegan en forma física, revisar nuevamente la papelería para corroborar su existencia.
- Dirigirse al Informe de Gira (si existe) y confirmar por medio de las observaciones, la ausencia de los datos.
- También es conveniente verificar los comentarios del Formulario IMN-DRMPD-FORM-023-2021, realizados por el encargado del control y recolección en el IMN de los datos provenientes de las EMM.
- Si no hay evidencia de la información, dirigirse a los compañeros encargados de la realización de la gira, encargado de la Red Meteorológica y/o encargado de la Gestión de Datos para la consulta correspondiente, los cuales realizarán las gestiones oportunas para la obtención de los datos.

Figura 32. Procedimientos control de calidad nivel 1.



Fuente: Elaboración propia.

Recolectados los datos, se procede con su procesamiento, iniciando con la edición de los archivos (no se hará énfasis en este proceso durante la investigación) y su posterior control de calidad.

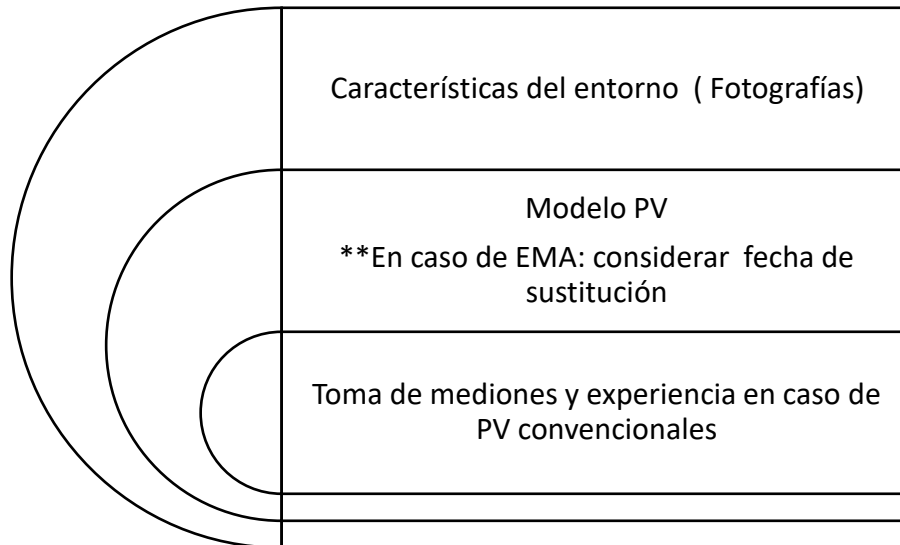
Durante la validación de los datos, resulta valioso contar con material de apoyo como los son los informes de gira, imágenes satelitales, boletines meteorológicos, y demás fuentes de información. El método pretende que se haga uso de todos los metadatos posibles, así como la recolección-documentación respectiva.

El control de calidad pone énfasis en la validación de los datos diarios y horarios, dado que son las resoluciones mínimas utilizadas hasta este momento (más adelante se describirá una propuesta de mejora en las pruebas de control de calidad; por ejemplo, límites de control, test de consistencia interna, test de consistencia espacial).

Anteriormente, se mencionó la importancia de los materiales de apoyo en la ejecución de la calidad, por lo que a continuación se mencionan las fuentes de información que deben ser utilizadas para el aseguramiento de la calidad.

- Informes de Control de Calidad: consultar el último informe realizado tras la evaluación de los datos, con el fin de dar seguimiento a alguna situación suscitada.
- Informes de Gira: informarse mediante el reporte de visita de campo, sobre el estado físico del PV o cualquier acontecimiento que pueda alterar las mediciones.
- Investigar sobre el mantenimiento realizado y anotar cualquier dato relevante en la calidad de la lluvia.
- Visitar el portal de Meteorología Sinóptica del IMN (<http://intra-files.imn.ac.cr/#/>), para el acceso a imágenes satelitales y otros productos que puedan servir de apoyo.
- Metadatos: durante la validación de datos, es vital considerar algunos metadatos, como los mostrados en la Figura 33, ya que proveen un gran potencial para los usuarios, porque permiten cerciorarse si un dato es correcto, mediante información relacionada con el origen de los datos.

Figura 33. Metadatos a consideración en el control de calidad nivel 1.



Fuente: Elaboración propia.

CC2: Control de calidad regional

Este nivel de control de calidad propone realizar un control de calidad regional, a efectuarse un mes posterior a la realización de la visita de campo, cuyo objetivo es analizar la variabilidad temporal de la precipitación en una región determinada que, para efectos de la Región Central de Costa Rica, se puede realizar según la clasificación expuesta a inicios de la investigación.

Durante esta etapa, se trabajará con los datos ya ingresados en la BD, los cuales cuentan con un CC previo. Como fue mencionado anteriormente, se efectuará en forma mensual, validando nuevamente la información procesada durante la gira, pero a diferencia del CC1, solo se trabajará con datos diarios correspondientes a un mes completo, dado que, mediante el análisis, se pretende integrar otras variables, detectar valores extremos, estimar valores faltantes, evaluar tendencias, calcular acumulados mensuales y anomalías. Se recomienda el uso de herramientas como la de reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay et al. 1996) creado por el Laboratorio de Ciencias

Físicas (PSL) de la NOAA si se quiere un mapeo general del mes o herramientas de mayor resolución espacial derivadas de otros reanálisis o de estimaciones satelitales. Como primer punto se debe elaborar un inventario de todas las estaciones pluviométricas en la zona de estudio, en donde se debe determinar la ubicación y las características geográficas importantes de cada punto; en esta etapa se recomienda utilizar mapas en 3D como, los indicados anteriormente.

Otro aspecto importante es el cálculo del promedio mensual de precipitación, utilizando el historial de cada EM. En este punto resulta una buena práctica realizarlo con un periodo en común (metadatos necesarios: fecha de inicio, fecha final), como es el caso de la Tabla 21, donde representa el promedio mensual de precipitación 1999-2019.

Tabla 21. Promedio mensual de precipitación 1999-2019.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
73018	36,9	21,4	15,8	44,4	211,9	192,7	128,2	150,6	254,6	287,7	131,3	56,3
73024	103,7	58,3	52,8	56,3	218,8	175,9	180,6	195,3	206,2	227,1	178,1	131,3
73035	99,9	63,6	48,4	54,8	244,8	260	219,7	227,4	279,5	272,1	181,3	109,7
73048	70,9	46,2	28,6	50,9	213,2	201,1	161,7	157,2	233,2	245,8	148,4	83,2
73115	262,2	166,5	114,5	94,2	250,2	260,2	266,3	185,5	219,9	239,6	297,1	262,8
73117	57,1	23,7	15,6	41,1	198,7	182,6	144,1	155,7	206,7	246,7	223,7	101,8
73123	64,5	35,5	19,5	37,8	196	181,3	132,5	138,9	208,6	229,2	137,7	74,5
73129	20,3	8,8	9,9	33,1	203,9	174,5	114,5	131,4	233,7	276	116,8	44,2
84006	11,6	9,2	8,1	70,7	312,1	314,5	215,4	269,3	413,5	387,8	198,3	51,4
84010	7,4	7,1	10,1	83,6	266,8	241,1	169,7	203,3	350,7	326	151,6	45,9
84019	8,8	6,8	9,1	69,3	309,3	310,8	218,3	264	424,2	390,3	195,7	46,1
84091	2,9	9,2	18,4	110,9	298,8	259,5	187,6	206,2	331,9	342,1	126,8	25,3
84092	6,9	11,6	25,8	128,9	419,6	405,8	262,7	344,8	491	532,9	248,3	71,9
84111	19,6	23,1	30,3	111,7	345,1	320,2	203,6	263,2	451,2	441,3	178,3	50,6
84119	1,9	8,4	8,8	60,5	229	197,1	150,5	207,3	308,4	313,6	128,2	31,2
84125	25,5	13,7	11,3	61,4	278,1	220,8	140,7	186,1	294,7	355,7	212,6	65
84135	5,2	22,6	27,1	78,8	309,6	269	169,3	238,1	372,6	398,3	155,2	25,3
84139	12,2	7,6	8,8	53,5	251,6	261,1	193,7	228,3	327,3	309,7	140,9	40
84141	12,5	9,1	10,7	45,3	250	249,1	173,2	207,4	317,8	301,7	132	28,8
84151	11,9	19,4	25	143,6	394	405,5	242,4	389,7	534,1	508,7	240,8	63,7

84159	161,6	79,7	53,3	138,9	421,3	406	291,8	335,6	486,9	517,4	397	214,4
84169	6,5	10,2	12,7	70,6	243,8	214,8	146	202,3	296,4	289,8	145,2	29,2
84183	5	10,2	9,6	104,9	389,9	346	234,3	314	441,5	447,2	221,7	52,6
84187	5,6	8	15,9	71,7	262,8	245,1	156,7	223,2	304,9	313,7	156	36,3
84191	3,8	11,2	13,7	55,2	240,5	203,6	152,6	209,6	275	301,8	127,6	26,9

Fuente: Base de Datos Institucional.

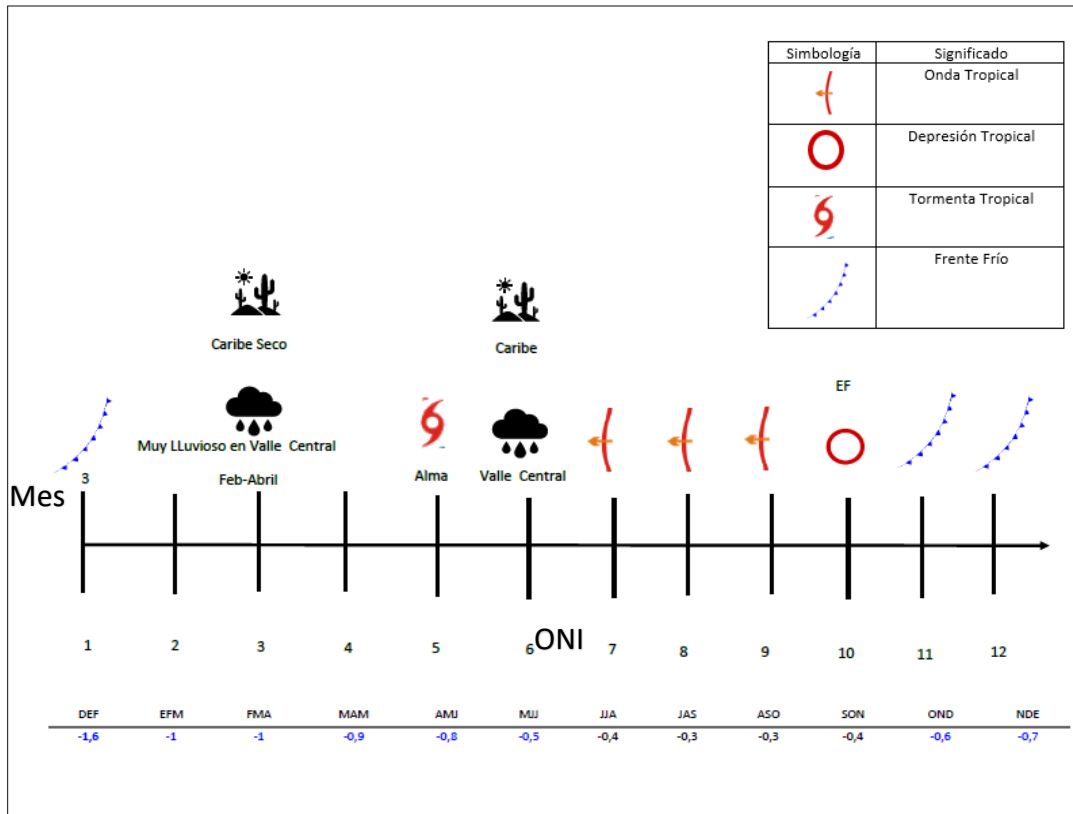
Es necesario considerar un número significativo de estaciones pluviométricas para poder dilucidar si existe un patrón geográfico determinado. La selección de las estaciones vecinas se utilizará como referencia para la determinación de los valores extremos o para otras actividades como la homogenización de datos (no es considerada dentro de esta investigación) para el cálculo de valores faltantes.

CC3: Control de calidad anual

Este control de calidad tiene como objetivo realizar una valoración anual de las mediciones, tomando en cuenta cada una de la EM y comparándola con los eventos y fenómenos meteorológicos relevantes durante el año.

El equipo de Gestión de Calidad debe investigar sobre las condiciones atmosféricas paralelamente a los otros niveles de calidad, unificando y construyendo herramientas y material visual que facilite la revisión. En esta etapa se sugiere la creación de resúmenes gráficos o escritos que resuman los acontecimientos relevantes de cada año, por ejemplo, el que se muestra en la Figura 34.

Figura 34. Eventos y Fenómenos Atmosféricos Año 2008.

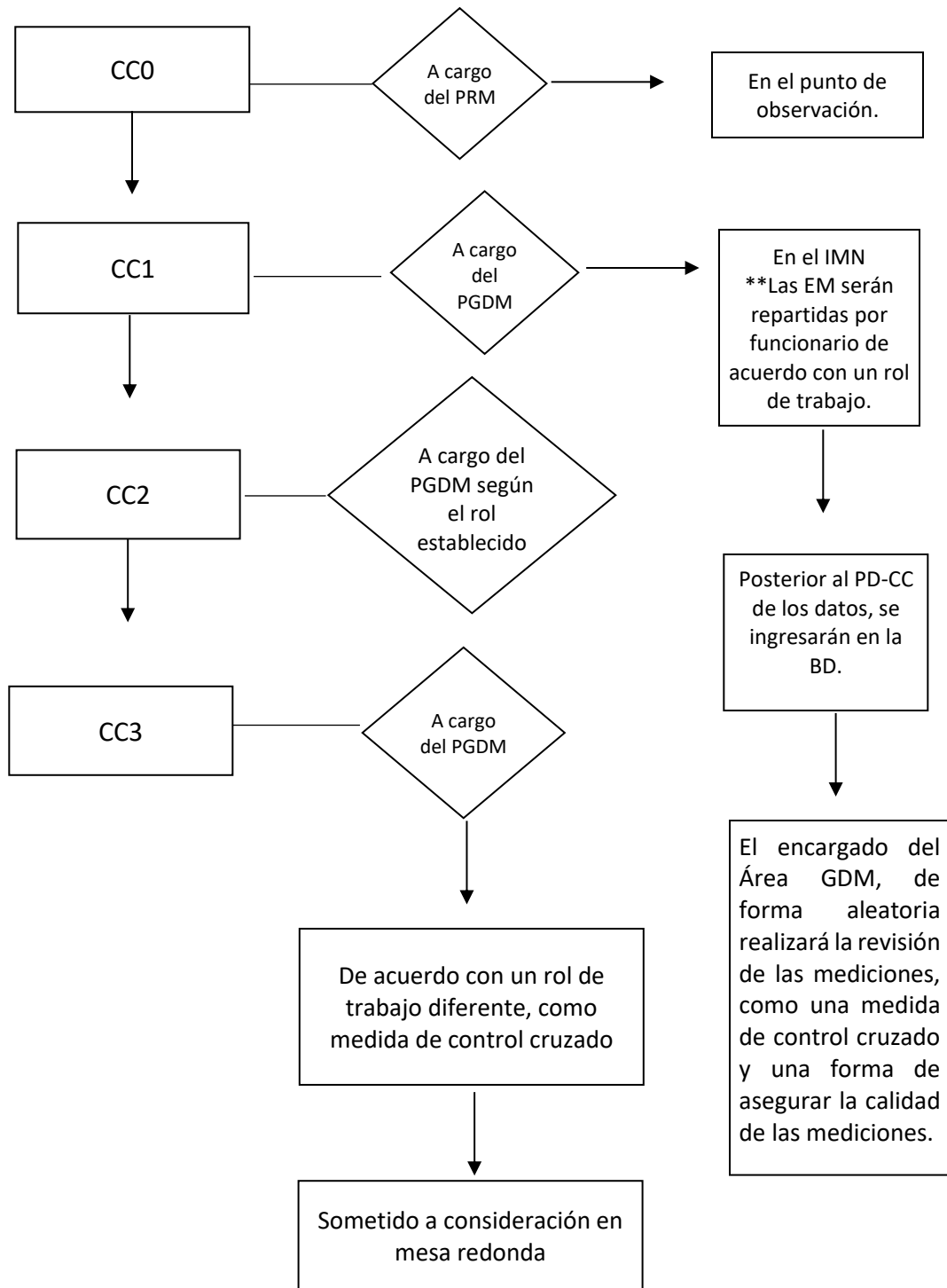


Fuente: Elaboración propia.

4.3. Operatividad de los niveles de calidad

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que representa el esquema de trabajo operativo a llevar a cabo durante cada uno de los niveles de calidad sugeridos. Dicho diagrama indica el orden en que se deben efectuar los cuatros niveles de calidad, el área a cargo de cada actividad, así como los periodos de ejecución.

Figura 35. Esquema de trabajo operativo para la implementación de los niveles de calidad.



Fuente: Elaboración propia.

4.4. Abanderamiento

En un SGC es imprescindible el aseguramiento y control de calidad. De acuerdo con OMM (2007), construir un modelo de marcado mediante banderas, se vuelve parte esencial de dichos procesos, debido a que, en el proceso de flujos de datos, el control de calidad está conformado entre otros elementos de un abanderamiento.

El abanderamiento es recomendable ya que describe las condiciones del dato e informa a los usuarios interesados. Se propone inicialmente el uso banderines para indicar el estado de los datos en la BD según su origen, tal y como se muestra la Tabla 22.

Tabla 22. Abanderamiento del estado de los datos según origen.

Indicador	Significado
0	Dato Medido
1	Dato Calculado

Fuente: Elaboración propia.

Una vez señalado este abanderamiento, se sugiere la marcación de banderines de la Tabla 23, que debe ser aplicada cuando sea efectuada la fase de validación (tras control y comprobación automática y/o supervisión humana).

Tabla 23. Abanderamiento fase de validación.

Indicador	Significado
0	Dato Correcto
1	Dato Sospechoso
2	Dato erróneo y eliminado
3	Dato Faltante (medición no realizada)

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de relleno de datos, el modelo debe indicar si un valor:

- Ha sido calculado utilizando valores no sospechosos
- Ha sido calculado utilizando valores faltantes

4.5. Diseño de sistema de validación

Todos los errores que provengan de la EM, a partir de los instrumentos o sensores, o durante la toma de las mediciones, deben ser detectados y eliminados. Para mejorar esta detección, se propone dentro de los procedimientos para el control de calidad, las siguientes pruebas de verificación, que de acuerdo con la OMM (2010) corresponden a normas mínimas que deben aplicarse para el control de calidad de los datos recibidos.

Prueba de Rangos

El primer procedimiento de validación que se ha diseñado para verificar la calidad de los datos de precipitación diarios corresponde a la Prueba de Rangos. Es una prueba basada en los límites registrados y en la consistencia física por la que no puede existir ningún registro de lluvia negativa. Entiéndase por rango, el límite superior y el inferior entre los que debe estar el valor de un dato para ser considerado como válido.

- Límites Físicos

Según las especificaciones del fabricante, la lluvia diaria debe encontrarse:

Para Pluviómetros Automáticos:

[0,700] mm

Para Pluviómetros Mecánicos:

[0,200] mm

Nota: medida con una probeta con resolución de 0,1 mm y capacidad de 10 mm.

- Límites según estadísticas de los datos

Rango Fijo

Se determina un umbral por subregión mediante la siguiente relación

$$0 \leq P \leq x$$

Donde P es el valor de precipitación diaria y x se determina con el análisis estadístico.

Los umbrales mencionados se muestran en la Tabla 24.

Tabla 24. Límite superior de precipitación diaria por subregión Región Central.

Subregión Región Central	Límite Superior por Subregión (x)
RCE	85 mm
RCC	70 mm
RCO	80 mm

Fuente: Elaboración propia.

Rango Variable

Los controles de rango fijo utilizan un intervalo constante para detectar datos diarios posiblemente erróneos, los intervalos usados en los controles de rango variable varían dinámicamente, tomando valores específicos diarios para cada mes del año.

$$0 \leq P \leq x_{\max}$$

Donde P es el valor de precipitación diaria y x_{\max} es el límite superior del valor diario de precipitación por mes.

A continuación, mediante la Tabla 25 se muestran los rangos variables para cada subregión.

Tabla 25. Límite superior mensual de precipitación diaria por subregión Región Central.

Mes	Límite Superior (xmax) RCE	Límite Superior (xmax) RCC	Límite Superior (xmax) RCO
1	70 mm	30 mm	30 mm
2	60 mm	60 mm	50 mm
3	50 mm	50 mm	45 mm
4	60 mm	60 mm	70 mm
5	70 mm	70 mm	75 mm
6	70 mm	65 mm	75 mm
7	80 mm	70 mm	70 mm
8	70 mm	60 mm	70 mm
9	85 mm	70 mm	80 mm
10	75 mm	70 mm	75 mm
11	70 mm	70 mm	70 mm
12	60 mm	70 mm	65 mm

Fuente: Elaboración propia.

También, utilizando los acumulados mensuales (estadísticas de 20 años presentados en la Tabla 21), se establece un rango que será de utilidad durante el control de calidad, siempre y cuando se cuente con el mes completo mediante la verificación del total de lluvia mensual.

$$[P_{min}, P_{max}]$$

Donde P_{min} es el valor de precipitación diaria mínima y P_{max} es el valor de la precipitación diaria máxima por mes.

Tabla 26. Rango mensual de precipitación.

Mes	Rango Mensual RCE	Rango Mensual RCC	Rango Mensual RCO
1	20-100	5-15	5-20
2	25-65	5-10	10-25
3	15-55	10-30	10-30
4	30-60	45-80	55-145
5	200-280	230-310	240-420
6	175-260	200-315	200-400
7	115-180	150-220	145-300
8	130-230	210-270	200-390
9	210-300	310-425	275-535
10	230-290	300-400	290-535
11	120-225	130-200	130-250
12	45-130	25-50	25-60

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de Consistencia Interna

Como se mencionó, es vital considerar la precisión del pluviómetro utilizado en cada medición y no puede existir ningún registro de lluvia inferior a este valor umbral. De esta manera como prueba de consistencia interna del sistema se establece la siguiente verificación

$$\text{Cuando } P > 0 ; P \geq R$$

Donde P es la precipitación diaria y R es la resolución (0,1-0,2-0,254) según el equipo instalado.

Para el caso especial de datos mayores a 0,2 mm o 0,254 mm en las EMA, se puede determinar o corroborar si la resolución del pluviómetro medida es la correcta, mediante la verificación del multiplicador según las características del sensor y los datos generados.

Determinada la resolución del equipo, se puede implementar como una medida de control, según equipo instalado/medición, la prueba que identifique el mínimo registrado diario en un periodo de datos, diferente de cero y cumpla los siguientes algoritmos

$$0 \leq P_{min} \leq 0,2 \text{ o algún múltiplo de } 0,2$$
$$0 \leq P_{min} \leq 0,254 \text{ o algún múltiplo de } 0,254$$

Donde P_{min} es el valor de precipitación diaria mínima (diferente de 0 mm).

Este algoritmo también es aplicable a datos horarios.

Prueba de Consistencia Temporal

Con esta prueba se valoran las mediciones consecutivas y se determinan los valores repetidos. Se sugiere excluir las precipitaciones con valor igual a 0 mm e identificar secuencias de 3 o más días con valores idénticos, para ser valoradas por los expertos. ¿Qué pasa con el caso de días sin precipitación? No se puede considerar exactamente una secuencia de ceros como incorrecta, por lo que es tomado en cuenta para una eventual implementación, el control sugerido por Aizpuru y Leggieri (2008). Este indica que el umbral (para determinar cuántos ceros consecutivos estén correctos), puede definirse calculando algún percentil. Utilizando los datos en el registro histórico (1999-2019), se calcula la longitud de todas las secuencias secas, es decir cuan larga es una secuencia de ceros desde que comienza en un mes determinado. Con base en esas longitudes, se estima el percentil que será usado como umbral. Se marcan como sospechosos, los días en secuencias de días secos que excedan el umbral determinado. Para efectos de esta investigación, no se realizaron los cálculos correspondientes, pero sí se pretende continuar con la propuesta sugerida, y con el objetivo de comprender las posibles diferencias en la estacionalidad de las precipitaciones, los umbrales de secuencias secas extremas se estimarán para cada mes.

Prueba de Consistencia Espacial

Se consideran las EM cercanas de acuerdo con la clasificación realizada desde el inicio de la investigación (ver Figuras 20 a 22). Para efectos de esta investigación, solo se tomaron encuentra EM con un registro mínimo de 20 años; sin embargo, eventualmente se pueden considerar otras EMA que se encuentren en una misma parcela y que contengan periodos de datos en común.

Los valores de una variable para una estación determinada (que generalmente se denomina la “estación central”) se comparan con valores de esa variable registrados en estaciones geográficamente cercanas y representativas (o “estaciones vecinas”).

La determinación de la distancia entre EM para considerar “estaciones vecinas”, es un punto complejo, especialmente para la variable de precipitación.

Relación con otros parámetros

Si el punto de medición dispone de sensores-instrumentos para la medición de otros parámetros se puede tomar en cuenta esta validación. Esto resulta más efectivo para las mediciones horarias, tema que se escapa de esta investigación, pero que puede ser considerado eventualmente. Por ejemplo, para que se registren precipitaciones es necesario que el cielo presente cobertura nubosa. En este caso se identifican como sospechosos los días en los cuales se hayan observado, por ejemplo, precipitaciones (precipitación mayor a la resolución del instrumento) en condición de cielo despejado. Esto puede ser verificado si se cuentan con sensores para la medición de la nubosidad o mediante las variables de radiación solar. El error puede presentarse tanto en los datos de precipitación como en los de nubosidad, por lo que ambas variables se marcan como sospechosas, antes de su verificación.

Otros puntos a considerar

El procesamiento de datos de precipitación diaria de los PV convencionales corresponde a un procedimiento que no es automático ni semiautomático, en donde se introduce manualmente los datos a la BD, con un control de calidad básico. Se

plantea crear un programa que incluya las pruebas expuestas anteriormente. Debido a la naturaleza de las observaciones, es necesario crear archivos digitales con dicha información para que estos sean evaluados por el mencionado programa.

Este cambio implica una modificación en la ingesta de estos datos, por lo que es conveniente realizar ajustes en la BD Institucional.

Adicionalmente, en el programa para CC de las EMM debe ser incluido los factores de corrección que se le deben realizar a la lluvia, según lo establecido en el IMM-DRMPD-INST-021, para casos donde existe un Pluviógrafo.

4.6. Modelo de metadatos

Dentro del diseño del SGC, la implementación de un modelo de metadatos adecuado es de gran beneficio para la interpretación detallada de los datos de precipitación.

El acceso a los metadatos brindará un valor añadido al sistema, dado que un registro óptimo permitirá que los datos de lluvia sean de utilidad para los usuarios e inclusive, permite el intercambio real de datos meteorológicos entre diferentes instituciones, organismos internacionales, usuarios, entre otros.

El punto de partida para implementar un sistema de gestión de metadatos es considerar los datos de precipitación generados en la Red de Estaciones Meteorológicas de la Región Central, así como información geográfica, ya que responde a la estructura de un sistema espacial con diferentes puntos de muestreo (estaciones), donde se registran y almacenan periódicamente datos georreferenciados.

Este documento pretende, según las recomendaciones de la OMM, ser una guía para suministrar de forma estandarizada, información detallada de los antecedentes de las EM y los datos medidos, junto con las actualizaciones de los cambios que se puedan presentar.

Los principales elementos considerados en el modelo (tomados de Manual del Sistema Mundial de observación, OMM) son:

- Información sobre la estación
- Información sobre cada instrumento/sensor
- Información sobre el proceso de los datos
- Información sobre la manipulación de los datos
- Información sobre la transmisión de los datos (EMA)

En la Tabla 27, se detalla la información referente a los metadatos por categoría.

Tabla 27. Modelo de metadatos.

Estación	Instrumento/ Sensor	Proceso de los Datos	Manipulación de los datos	Transmisión de los datos*	Observador Meteorológico
Nombre	Tipo de Instrumento/Sensor: Fabricante, modelo, número de serie	Programa de mediciones / observaciones: hora de las observaciones, frecuencia de transmisión-notificación	Procedimiento/algoritmos de control de calidad	Método de Transmisión	Nombre del Observador
Identificador	Método de observación/modificación	Modo de observación	Indicadores de Calidad	Formato de los datos	Ocupación
Elevación msnm	Unidad de medida	Fórmula para calcular el elemento	Valores de las constantes y parámetros	Hora de Transmisión	Años de Experiencia
Tipo de Suelo	Resolución Temporal	Valores de las constantes y parámetros	Procedimientos de proceso y almacenamiento	Frecuencia de Transmisión	
Tipo de Vegetación	Emplazamiento y Exposición: Ubicación, grado de interferencia con otros instrumentos u objetos, altura sobre el suelo	Origen de los datos (variable medida u obtenida)			
Topografía local	Intervalo de muestreo				

Tipo de EM	Fecha de Calibración				
Fabricante	Mantenimiento preventivo y correctivo				
Modelo					
Número de Serie					
*Programa de Observación: Parámetros medidos, hora de referencia					
Fecha de Instalación					
Historial de la EM					

Fuente: Elaboración propia.

La idea con esta propuesta es contar con toda la información necesaria que indique con exactitud el lugar donde se realizaron las observaciones, la persona a cargo y la forma en que se hicieron, el instrumento/sensor utilizado, entre otros aspectos, y así atribuir la calidad de las mediciones. Actualmente, en el IMN se resguarda parte de la información mencionada en la tabla anterior; sin embargo, es vital especificar otros metadatos para contar y garantizar mediciones confiables. Sumado a esto, no se cuenta con una estructura en la BD que centralice la información y que a su vez pueda almacenar fotografías que resulten de interés, planos del emplazamiento, imágenes de documentos antiguos, etc.

Por lo que, desde este punto de vista, es recomendable almacenar todos estos datos en un sistema informático que esté ligado a las observaciones.

Se quiere destacar, que este modelo fue tomado en cuenta en la realización del instrumentado (Anexo 3 y 4) utilizado en las visitas de campo realizadas durante el desarrollo de esta investigación.

4.7. Auditoría

En el desarrollo de la investigación y durante las visitas de campo, se puso en evidencia que es necesario la realización de auditorías internas, ya que constituyen un componente clave dentro de un sistema de gestión de la calidad, cuyo objetivo es asegurar la calidad, agregar valor y mejorar los procesos de instalación y mantenimiento de las estaciones meteorológicas, así como el respectivo procesamiento y control de calidad de las mediciones.

Se sugiere efectuar las auditorías semestralmente para darle seguimiento a las situaciones encontradas (deficiencias en los procesos de DRMPD). Es vital crear un plan de trabajo de acuerdo con las evaluaciones que se deseen realizar.

Como primer punto a considerar sería realizar las auditorías por área, se evaluaría todo lo relacionado al equipo meteorológico instalado (área red meteorológica: RM) y por otro lado todo lo referente a la gestión de datos (área gestión de datos meteorológicos: GDM), como se muestra en la Tabla 28.

En dicha tabla se muestra el cronograma anual para la realización de dichas auditorías, las evaluaciones se efectuarán por subregión en el mes indicado, donde se señala de color azul, el área GDM y de color celeste, el área RM.

Tabla 28. Cronograma anual de auditorías internas DRMPD.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
VCE	GDM						GDM					
			RM						RM			
VCC			GDM						GDM			
		RM						RM				
VCO												
		RM		GDM				RM		GDM		

Fuente: Elaboración propia.

Se ejecutará la valoración de cada EM en forma aleatoria por región. La idea es verificar la ejecución de los procesos y el estado de los puntos de observación,

permitiendo garantizar el buen funcionamiento de los controles establecidos en el departamento. En este proceso se requiere el uso de formularios, por lo que se sugiere utilizar los formularios del Anexo 3 y 4, así como tomar de referencia las preguntas del Anexo 1 y 2.

Conforme a recomendaciones de la Guía, OMM- N°1100, (2017) se requiere:

- Difundir el calendario de auditorías, ya que resultará muy útil como herramienta de planificación para las principales partes interesadas.
- El proceso de auditoría interna debería cubrir todos los aspectos de la preparación y la realización fundada en un programa adecuado que incluya los siguientes aspectos: alcance de la auditoría, criterios, referencias, definiciones, calendario, resultados, seguimiento, acciones correctivas, documentación, errores y examen de gestión.

4.8. Categorización de las estaciones meteorológicas y matriz de riesgos

Una vez realizada la auditoría, corresponde evaluar los resultados, por lo que se propone crear una matriz de riesgos.

Para efectos de esta sección, es importante entender que el riesgo de acuerdo con COSO (Álvarez, 2021), riesgo es la probabilidad de ocurrencia de un evento que afecte negativamente los resultados y según la norma ISO 31000, riesgo es la incertidumbre en los resultados.

Utilizando como referencia la metodología para la gestión de riesgos, ISO 31000 y la Guía para la Valoración de Riesgo y Generación de Matrices (Ministerio de Hacienda, 2018) lo primero que debe realizarse es identificar los riesgos y luego priorizarlos para continuar con la evaluación de la probabilidad de ocurrencia y su impacto. Independiente de cuántos y cuáles sean, la clave está en incluirlos en una matriz y valorarlos correctamente para conocer los más críticos para la operación y continuidad y poder implementar controles que ayuden a mitigarlos.

La matriz mencionada representa gráficamente los riesgos valorados. Se propone hacer un mapa como el de la Figura 36, utilizando los colores verdes, amarillo, y rojo.

Esto facilitará su visualización y ayudará a tener claridad de cuáles son los riesgos más críticos y priorizar acciones.

Figura 36. Matriz de riesgo propuesta.

			Impacto		
			Bajo	Medio	Alto
			1	2	3
Probabilidad	Alta	3			
	Media	2			
	Baja	1			

Fuente: Elaboración propia.

El riesgo es calculado mediante la siguiente fórmula:

$$R = P \times I$$

donde R es el riesgo, P la probabilidad e I es el impacto asociado.

De acuerdo con ISO31000, el impacto corresponde al conjunto de consecuencias que origina un riesgo si llegara a presentarse y la probabilidad es la posibilidad de que ocurra un riesgo, tomando en cuenta los controles actuales y su efectividad.

En este caso particular, la identificación de los riesgos se basa en los eventos que han ocasionado o pueden ocasionar la generación de datos de precipitación anómalos (se ha tenido en cuenta aquellos acontecimientos encontrados durante la investigación). Al mismo tiempo, el impacto se evalúa en términos de la generación de la información.

La probabilidad y el impacto se divide en tres categorías, como se muestra en la Tabla 29 y 30 respectivamente.

Tabla 29. Calificación de la probabilidad.

Categoría de la probabilidad	Descripción	Puntaje
Baja	Puede ocurrir alguna vez, existen condiciones que hacen muy lejana la posibilidad de obtener datos erróneos.	1
Media	Puede ocurrir de forma aislada, existen condiciones que hacen poco probable la generación de datos erróneos en corto plazo, pero no son suficientes para evitarlos a largo plazo.	2
Alta	Puede ocurrir de forma repetida, existen condiciones que hacen que aumentan la posibilidad y la certeza de que se generen datos erróneos.	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Calificación del impacto.

Categoría del impacto	Descripción	Puntaje
Alto	Errores significativos continuos, existen importantes errores, severos incumplimientos con la normativa de la OMM y el IMN.	3
Medio	Errores significativos ocasionales, existen incumplimientos importantes con la normativa de la OMM y el IMN	2
Bajo	Errores operativos, existen incumplimientos mínimos con la normativa de la OMM y el IMN	1

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores asignados para la probabilidad y el impacto, el riesgo toma un valor, el cual es representado en la Figura 37.

Figura 37. Valores de los riesgos en la matriz propuesta.

		Impacto			
		Bajo	Medio	Alto	
		1	2	3	
Probabilidad	Alta	3	3	6	9
	Media	2	2	4	6
	Baja	1	1	2	3

Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
-------------	--------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

El Riesgo, está agrupado en tres rangos, con puntaje de 1-9 y representado para su mejor visualización, en la matriz con los colores del semáforo.

- **Riesgo bajo** = 1 – 2 (verde)
- **Riesgo medio** = 3 – 4 (amarillo)
- **Riesgo alto** = 6 – 9 (rojo)

Una vez valorado los riesgos, se analizan con el objetivo de definir acciones que permitan eliminar, mitigar o aceptar los riesgos.

Esta propuesta de Gestión, clasifica los riesgos según:

- Emplazamiento y exposición.
- Adquisición de datos.
- Mantenimiento preventivo y.
- Procesamiento y control de calidad.

Esta categorización de actividades, nace al identificar las causas que pueden estar asociadas al mal funcionamiento de una EM. A pesar del impacto de contar con datos anómalos de origen natural, en esta investigación se enfoca principalmente en las amenazas inducidas por la acción humana de forma accidental y aspectos operativos o tecnológicos.

Dicho esto, la Tabla 31 muestra algunos ejemplos de los riesgos más frecuentes encontrados durante la investigación, cuyas causas se pueden catalogar como naturales, operaciones y antrópicos, como se mencionó anteriormente.

Tabla 31. Tipos de riesgos IMN.

Actividad asociada	Ejemplos riesgos asociados	Causa		
		Natural	Operacional	Antrópica
Emplazamiento y exposición	No hay representatividad	x		x
	Presencia de obstáculos	x		x
	No cumple requisitos OMM			x
	Ubicación inadecuada del PV			x
Adquisición de datos	Programa incorrecto de medición		x	x
	Forma inadecuada en la realización de lecturas			x
	Experiencia del observador			x
	Ausencia de observador		x	
Mantenimiento preventivo y correctivo	Condiciones inadecuadas del equipo de medición		x	x
	No se realiza los procedimientos adecuados		x	x
	Fallo o daño en PV	x	x	x
Procesamiento y control de calidad	No se realiza los procedimientos adecuados		x	x
	Presencia de datos anómalos en la BD.			x

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, un ejemplo de la aplicación de la matriz de riesgo en la EM 73035 ubicada en Navarro, Cartago. Primeramente, se identifican los riesgos asociados a la EM, luego se otorga el valor de probabilidad e impacto para obtener cual es el valor que tiene el riesgo. Una vez hecho esto, se construye la matriz de riesgo para mapear el riesgo y así determinar si el riesgo es bajo, medio o alto y así tomar acciones y darles prioridad.

Tabla 32. Ejemplo de riesgos inherentes EM 73035 Navarro, Cartago.

Número de Riesgo	Riesgo Identificado	Probabilidad	Impacto	Valor de Riesgo	Actividad Asociada	Acción
1	No cuenta con la altura establecida	3 Alta	2 Medio	6 Alto	Emplazamiento y exposición	Eliminar
2	Deterioro del soporte sobre el cual está montado el PV	2 Media	1 Bajo	2 Medio	Mantenimiento preventivo y correctivo	Eliminar
3	Salpicaduras externas	3 Alta	3 Alto	9 Alto	Emplazamiento y exposición	Mitigar
4	Ubicación y exposición del PV	3 Alta	3 Alto	9 Alto	Emplazamiento y exposición	Mitigar
5	Influencia orográfica	3 Alta	2 Medio	6 Alto	Emplazamiento y exposición	Aceptar
6	Datos sospechosos en la BD	1 Baja	3 Alto	3 Medio	Procesamiento y control de calidad de los catos	Eliminar

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo la Tabla 32, se concluye que:

- La EM cuenta con varios riesgos asociados al emplazamiento y exposición del PV.
- Se identificaron cinco riesgos.
- El riesgo 1 tiene un impacto medio, y con la corrección adecuada, este se puede eliminar.
- El riesgo 3 y 4 tienen un alto impacto, los cuales se pueden mitigar mediante la reubicación del PV.
- El riesgo 6, a pesar de su alto impacto se puede eliminar.

A pesar de que anteriormente se menciona, los impactos y probabilidades, se tiene que poner especial atención a la matriz de riesgo que se presenta en la Figura 38, ya que se destaca en donde se ubica cada riesgo, el cual tiene nivel de prioridad según el color y así crear los planes de acción. De hecho, se puede observar que los riesgos prioritarios son el 1,3, 4 y 5 (en la matriz de riesgo se ubican en la sección de color rojo).

Figura 38. Matriz de riesgo EM 73035 Navarro, Cartago.

			IMPACTO		
			Bajo	Medio	Alto
			1	2	3
PROBABILIDAD	Alta	3	4	1-5	3-4
	Media	2	2	5	6
	Baja	1	3	4	6

Fuente: Elaboración propia.

Categorización de las EM

Como se mencionó anteriormente, se deben tomar acciones con los riesgos identificados; sin embargo, para priorizar los puntos de observación, se plantea su categorización, la cual se basa en el análisis del riesgo global a partir de la matriz descrita.

Esta valoración esta asignada por criterio propio, se califica cada actividad de acuerdo con la cantidad de riesgos asociados. Se toma como principio que la calificación será mayor si existe menos posibilidad de eventos que generen datos erróneos y eventos con impacto relevante. Tendrá un ponderado de 1-3, donde 3 es muy bueno, 2 bueno y 1 malo; una vez asignado el valor correspondiente, se suma y el total de puntos corresponderá a una letra de la A a la C (A: muy bueno, B: bueno y C: malo).

Valores de las letras asignadas A, B, C

- 10-12= A
- 8-9 = B
- 4-7 = C

La Tabla 33, presenta a continuación la categorización de las EM de la investigación, tras el análisis correspondiente de los riesgos inherentes.

Tabla 33. Categorización de las estaciones meteorológicas.

ID	Nombre	Emplazamiento y Exposición	Adquisición de Datos	Mantenimiento Preventivo y Correctivo	Procesamiento y Control de Calidad de los Datos	Categoría
73018	Linda Vista, El Guarco	1	2	2	2	C
73024	Paraíso, Los Naranjos	2	1	2	1	C
73035	Navarro, Cartago	1	3	2	1	C
73048	Dulce Nombre	3	2	2	2	B
73115	Capellades, Birris	2	2	2	2	B
73117	San Juan De Chicué	2	1	2	1	C
73123	ITCR, Cartago	3	3	2	2	A
73129	Recope, Ochomogo	1	3	2	1	C
84006	Hda. Concepción, Tres Ríos					Cerrada
84010	Alajuela Centro	2	2	2	2	B
84019	Hda. La Laguna, Curridabat	2	3	2	2	B
84091	E. C. De Ganadería, UTN	3	2	2	2	B

84092	Tegucigalpa, Itiquis	3	2	2	2	B
84111	Santa Lucía, Heredia	3	3	2	2	A
84119	Guachipelín, Santa Ana	1	3	2	2	B
84125	Finca 3, Llano Grande (La Laguna)	3	2	2	2	B
84135	Cerro Tapezco	1	3	2	1	C
84139	CIGEFI	3	3	2	2	A
84141	IMN, Aranjuez	2	3	2	2	B
84151	Chagüite, El Roble, Santa Barbara	2	3	2	2	B
84159	Hda. La Giralda	3	2	2	1	B
84169	Aerop. Juan Santamaria, MP	3	3	2	2	A
84183	Calle Vargas, Tambor	2	3	2	2	C
84187	Fabio Baudrit	3	3	2	2	A
84191	Recope, La Garita	1	3	2	2	B
84277	La Aurora					Cerrada

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como fue mencionado, la tabla muestra los valores Los valores asignados: 3: muy bueno, 2: bueno y 1: malo. Los colores y las letras indican la categoría en la que se encuentra, A (color verde) indica muy bueno, B (color amarillo) indica bueno y C (color rojo) indica malo.

4.9. Documentación

La documentación es una herramienta útil para los futuros usuarios, para los mismos funcionarios de DRMPD, así como para el seguimiento de lineamientos y evidencia de cambios suscitados en los pluviómetros.

Todos los documentos tales como procedimientos, instructivos y formularios deben estar escritos en forma clara, concisa y con detalladas descripciones de los procedimientos específicos. Para la estandarización de la documentación, se sugiere seguir los lineamientos que se han establecido en DRPMD, con sus respectivas actualizaciones y formatos determinados.

Cada pieza de información debe tener un consecutivo y llevar un control de versiones, así como el respaldo correspondiente.

La OMM en su publicación "Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad" (2019), en su sección de Gestión de Calidad resalta la relevancia de la documentación. Resulta ventajoso aplicar las siguientes recomendaciones para garantizar la calidad de las mediciones:

- Documentar y retener la información sobre la procedencia de los datos (considerado en el Modelo de Metadatos).
- Brindar los enlaces de la metodología documentada utilizada para crear productos, a fin de garantizar la trazabilidad plena de la cadena de producción.
- Compartir información como parte del registro de procedencia.
- Mantener revisar y actualizar periódicamente la documentación de los procesos de gestión de datos, en particular, la información sobre responsabilidades y rendición de cuentas.

Actualmente se cuenta con el formulario IMN-DRMPD-FORM-004, en donde se documenta los detalles de las visitas de campo.

Inicialmente fue creado pensando en las EMA, tal y como se observa en la Figura 39. Debido a la necesidad de registrar información relevante de las EMM, es necesario modificar este instrumento o crear un nuevo formulario para el resguardo de dicha información.

Se recomienda incluir:

- Nombre del Observador.
- Instrumentos para la medición de la precipitación (PV-PG).
- Detalles de la información recolectada (mes completo, periodo de datos faltantes, etc.).
- Indicar el código o la manera de representar mediciones no realizadas, acumulados y/o días sin lluvia.
- Describir el estado físico y exposición del PV.

Por otro lado, es importante documentar también en el IMN-DRMPD-FORM-005: Informe de revisión y control de calidad de datos meteorológicos, los motivos para la eliminación de cualquier dato, señalando en caso de déficit de lluvia y acumulados extremos la situación meteorológica (evento y/o fenómeno meteorológico) suscitada en el periodo analizado, así como las fuentes de apoyo utilizadas durante la verificación.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al finalizar este trabajo de investigación, orientado a la aplicación de un Sistema de Gestión de la Calidad, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

De las estaciones pluviométricas consideradas, aproximadamente el 50% fueron identificadas como sospechosas por contener datos anómalos en la Base de Datos.

Pese a que se han implementado controles de calidad, se ha puesto en evidencia que hay inconsistencias; esto refleja el hecho de que se debe mejorar los niveles de control de calidad e implementar un proceso de mejora continua.

La OMM establece en sus guías, manuales y otros documentos regulaciones en relación con el emplazamiento de los pluviómetros, requisitos en materia de Gestión de datos, controles de calidad y otros. Pero, a pesar de contar con estos lineamientos, la calidad de los datos y la exposición e instalación de sensores e instrumentos no obedecen en su totalidad a los estándares planteados.

La metodología propuesta es sencilla, puede ser aplicada en cualquier región en donde sea de interés caracterizar la variabilidad de la precipitación para su respectivo aseguramiento y control de calidad.

Se desarrolla y se propone un conjunto de algoritmos matemáticos, tras el análisis exploratorio de los datos y cálculos estadísticos para el establecimiento de los rangos o límites de control para su implementación en las pruebas de control de calidad.

La definición de tres subregiones (este, oeste y central) para las estaciones meteorológicas de la Región Central presenta una ventaja estadística. En cada subregión se pueden aplicar los métodos regionales para obtener estimaciones de diseño más confiables.

La creación de los metadatos fomenta y/o mejora la interoperabilidad, accesibilidad, disponibilidad, integración, intercambio y gestión de la información de precipitación.

La implementación de metadatos es una tarea complicada que requiere, además de cierta especialización y gran dedicación, un conocimiento exhaustivo de las características y aspectos importantes que se van a incluir como metadato y contar con procedimientos y criterios para determinar la información que se debe recolectar.

Se pueden aplicar umbrales que varíen con el tiempo, para detectar valores sospechosos, tomando valores específicos de precipitación diaria para cada mes del año, por lo que los controles son más finos o sensibles que los controles de rango fijo.

Es necesario ampliar los controles de calidad a varios niveles, ya que, debido a las actividades desarrolladas en cada etapa, garantizan que las mediciones puedan satisfacer las necesidades del usuario final.

La implementación de un sistema de codificación de banderines, resulta una buena práctica ya que se puede indicar cuando los datos han sido o no verificados, así como también cualquier marca que me pueda calificar el dato como conforme, dudoso o malo.

La ejecución de auditorías internas, permite evaluar el funcionamiento de los sistemas implementados y los procedimientos adaptados en DRMPD, así como también mantener y actualizar el sistema de gestión de calidad de manera continua. Durante la generación de las mediciones, se pueden presentar diferentes situaciones que pueden afectar la calidad del dato. Por ello es importante contar con una matriz de riesgos que permita valorar y controlar las situaciones de riesgo identificadas, así como que permita visualizarlos, cuantificarlos y controlarlos, transferirlos o mitigarlos y que sirva para la toma de decisiones y acciones correspondientes para

hacerle frente a los riesgos que tienen mayor probabilidad de ocurrir y de impactar en la calidad de la información.

5.2. Recomendaciones

Una vez concluido el presente trabajo de tesis, se pone a consideración del lector algunas recomendaciones con base en los resultados obtenidos.

Se sugiere extender la investigación a otras regiones del país, y dada la variabilidad temporal y espacial de la precipitación, realizar el análisis por subregiones con características geográficas y topográficas similares.

Debido a la importancia de la calidad de las mediciones, es recomendable ampliar los resultados expuestos en esta tesis al estudio de otros tipos de variables meteorológicas.

De ser posible, generar estadísticas y estudios con un periodo de 30 años o al menos 20 años de mediciones para la creación de algoritmos matemáticos destinados a la validación de los datos.

Considerar y determinar las necesidades de los usuarios finales de los datos, mediante procesos consultivos (entablar una serie de consultas con un grupo de usuarios establecidos), con el fin de aplicar y/o mejorar las prácticas en relación con la gestión de datos.

Con el objetivo de mantener la continuidad y homogeneidad de la calidad de los datos, evaluar con mayor frecuencia la gestión de las redes y sistemas de observación.

Establecer los criterios que deben seguir los gestores de redes de estaciones meteorológicas para la creación de los ficheros digitales utilizados para la difusión e intercambio de datos meteorológicos y climatológicos.

Utilizar tecnologías que permitan alcanzar un estándar técnico basado en las recomendaciones de la OMM, para el desarrollo e implementación del sistema de metadatos.

Impartir un curso de formación introductoria básica sobre ISO, para garantizar el éxito de la aplicación de un sistema de gestión de la calidad, pues permite comprender correctamente los principios y las prácticas propios a la norma ISO 9001.

Realización de auditorías y elaboración de un programa sólido de auditoría interna como componente clave de un sistema de gestión de la calidad.

Elaborar herramientas de análisis de deficiencias para evaluar la situación actual de la Red Meteorológica, así como de los datos en la base de datos Institucional, conforme a las normas ISO y señalamientos de la OMM.

Los análisis de deficiencias y las auditorías deben centrarse en los procesos y el sistema completo y no en las personas que siguen las prácticas y los procedimientos indicados.

Realizar sesiones de examen de la gestión de la calidad en diferentes etapas, desde su etapa inicial hasta su aplicación. Estas podrían realizarse después de las auditorías, con el fin de examinar las conclusiones alcanzadas y disponer acciones de seguimiento/correctivas.

En la investigación se plantea la creación de una Matriz de Riesgo para cada pluviómetro, desde el punto de vista de emplazamiento hasta la calidad del dato,

por lo que también se sugiere la confección de una plantilla para el registro de los riesgos como la observada en el Anexo 8.

Investigar temas relacionados a la calibración de equipo y obtención de la certificación correspondiente para brindar un valor agregado a las mediciones realizadas.

Considerar el control sugerido por Aizpuru y Leggieri (2008) como prueba de Consistencia Temporal para el caso de días sin precipitación.

Bibliografía

- Aizpuru, J. y Leggieri, L. (2008). *Predicción de Indicadores de Cambio Climático para Argentina durante el Siglo XXI*. [Tesis de Licenciatura. Universidad de Buenos Aires, Argentina].
<http://gestion.dc.uba.ar/media/academic/grade/thesis/leggieri.pdf>
- Al día. (7 de mayo de 2004). Alerta por lluvias. *Al día*.
http://www.aldia.cr/ad_ee/2004/mayo/07/ultimahora4.html
- Alfaro, E y Alvarado, L. (2002). *Frecuencia de los ciclones tropicales que afectaron a Costa Rica durante el siglo XX*. San José, Costa Rica.
<https://www.researchgate.net/publication/237355485>
- Álvarez, M. (2021). *Consultoría Empresarial | 3 Conceptos para evaluar los riesgos empresariales*. Grupo Albe Consultoría.
<https://www.grupoalbe.com/consultoria-empresarial-3-conceptos-sobre-como-evaluar-los-riesgos-empresariales/>
- Araya, J.L (2007). *Algoritmos de control de calidad de datos en estaciones meteorológicas automáticas*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica.
- Araya, J.L y Alfaro, E. (2008). *Prueba e implementación de algoritmos de control de calidad de datos de temperatura superficial del aire en un contexto operativo*. *Revista Tecnología en marcha*, (21), 47-61.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835773.pdf>
- Araya, J.L y Alfaro, E. (2009). *Algoritmos de control de calidad para la detección de secuencias atípicas de contactos en pluviómetros de balancín*. *Tecnología en Marcha*, (22), 63-78.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835856.pdf>
- Araya, J.L (2011). *Resultados de un control de calidad para datos horarios de precipitación, irradiancia, velocidad y dirección de viento*. *Revista de Climatología del Instituto Meteorológico Nacional*, (11), 11-29.
<http://www.climatol.eu/reclim/reclim11b.pdf>
- Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). *Costa Rica-Afectaciones por lluvias intensas asociadas a la depresión tropical N° 26 y Tormenta Tropical Nate*. San José, Costa Rica.
https://presidencia.go.cr/bicentenario/wp-content/uploads/2017/10/INFORME-GENERAL-TORMENTA-TROPICAL-NATE-5.OCT_2017.pdf
- Campbell Scientific. (s.f.). *Sensores*. Recuperado el 27 de junio de 2022 de <https://www.campbellsci.es/sensors>
- Campbell Scientific. (s.f.). *CS700 Rain Gauge*. Recuperado el 22 de julio de 2022 de <https://www.campbellsci.es/sensors/cs700>
- Campbell Scientific. (s.f.). *TE525-I Rain Gauge*. Recuperado el 22 de julio de 2022 de <https://www.campbellsci.es/te525-i>

- Campos, D y Quesada, A. (2017). *Impacto de los eventos hidrometeorológicos en Costa Rica. Período 2000-2015*. UNA. Heredia, Costa Rica. <https://www.researchgate.net/publication/319310937>
- Cubillos, M. y Rozo, D. (2009). *El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para la competitividad*. Revista de la Universidad de La Salle, (48), 80-99. <https://ciencia.lasalle.edu.co/ruls>
- Esquivel, L., Hidalgo, M Y Vallejos, S. (2012). *Histórico de desastres en Costa Rica (Febrero 1723-Setiembre 2012)*. CNE. San José, Costa Rica. cedo@cne.go.cr
- Fallas, J.C., Manso, P Y Stolz, W. (2005). *El régimen de la precipitación en Costa Rica*. Revista Ambientico, (144). 7. <https://www.ambientico.una.ac.cr/revista-ambientico/el-regimen-de-la-precipitacion-en-costa-rica/>
- Fonseca, M. y Tencio, F. (2021). *Instructivo Procesamiento de Datos de Lluvia provenientes de las Estaciones Meteorológicas Mecánicas*. IMN-DRMPD-INST-021. San José, Costa Rica.
- Fox, J. (2022). *The R Commander: una GUI de estadísticas básicas para R*. Recuperado 15 de junio de 2022 de <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>
- Hernández,R.(2014). *Metodología de la investigación*.(6ªed).Mc Graw Hill. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (s.f.). *Boletín ENOS 1999-2019*. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/boletin-enos>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (s.f.). *Boletín Meteorológico Mensual 1999-2019*. <https://www.imn.ac.cr/web/imn/boletin-meteorologico>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (s.f.). *Base de Datos: SIMET Sistema de información Meteorológica*.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2008). *Clima,variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San José, Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/CambioClimatico/climaVariabilidadCambioClimaticoCR.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN).(2013). *Los Huracanes y los efectos en Costa Rica*. San José, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31306/9-LOS+HURACANES+Y+LOS+EFECTOS+EN+COSTA+RICA/dce06c47-915f-4517-a001-30cbf6f890d9>
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN).(2021). *Análisis de la mortalidad por eventos meteorológicos extremos en Costa Rica.Periodo 1980-2017*.IMN-PNUD. San José, Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/analisis-de-la-mortalidad-por-eventos-meteorologicos-extremos-en-costa-rica-periodo-1980-2017/>
- ISOtools. (s.f.). *Blog Calidad y Excelencia: Historia y evolución del concepto de Gestión de Calidad*. Recuperado el 6 de setiembre de 2020 de <https://www.isotools.org/2016/01/30/historia-y-evolucion-del-concepto-de-calidad/>

- Lambrech Meteo. (s.f.). *Product Catalogue. Meteorological Instruments*. Recuperado el 12 de julio de 2022 de https://www.lambrech.net/files/downloads-e/LAMBRECHT%20meteo%20Catalogue_EN%2040_18.pdf
- La Nación. (6 de octubre de 2003). Cerca de 60 casa dañadas por fuertes llluvias. *La Nación*. <https://www.nacion.com/archivo/cerca-de-60-casas-danadas-por-fuertes-lluvias/NFGV7JBFMBGJ5KESLTXD3MDJH4/story/>
- La Nación. (7 de octubre de 2003). Mantienen alerta por llluvias en Costa Rica. *La Nación*. <https://www.nacion.com/archivo/cerca-de-60-casas-danadas-por-fuertes-lluvias/NFGV7JBFMBGJ5KESLTXD3MDJH4/story/>
- La Nación. (9 de enero de 2005). Al menos 600 desplazados y alerta amarilla en Caribe por llluvias. *La Nación*. <https://www.nacion.com/archivo/al-menos-600-desplazados-y-alerta-amarilla-en-caribe-porlluvias/F4NFVPVDGVEXXLP7DYKN7O73ZQ/story/>
- La Nación. (10 de julio 2005). Dos muertos y 107 viviendas dañadas tras fuertes llluvias. *La Nación*. <https://www.nacion.com/sucesos/dos-muertos-y-107-viviendas-danadas-tras-fuertes-lluvias/JMRJ2HCVLNDWLBMIJDSXEW42DA/story/>
- La Nación. (27 de enero de 2006). Declaran alerta verde en Caribe y Norte de Costa Rica por llluvias. *La Nación*. <https://www.nacion.com/archivo/declaran-alerta-verde-caribe-y-norte-de-costa-rica-por-lluvias/UMD4YZHPAJGJDNJIBD3HOD5L4M/story/>
- Ministerio de Hacienda. (2018). *Guía para la Valoración de Riesgo y Generación de Matrices*. San José, Costa Rica. <https://docplayer.es/123231654-Guia-para-la-valoracion-de-riesgo-y-generacion-de-matrices.html>
- NOAA Physical Sciences Laboratory. (s.f.). *Monthly/Seasonal Climate Composites*. Recuperado el 23 de julio de 2020 de <https://psl.noaa.gov/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>
- NOAA National Weather Service. (s.f.). *Climate Prediction Center*. Recuperado el 11 de noviembre de 2020 de https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- Organización Internacional de Normalización. (s.f.). *ISO Organización Internacional de Normalización*. Recuperado el 6 de setiembre de 2020 de <https://www.iso.org/about-us.html>
- Organización Internacional de Normalización (ISO).(2008). *ISO 9000 Introduction and Support Package: Guidance on the Documentation Requirements of ISO 9001. ISO/TC 176/SC 2/N 525R2*. Recuperado de https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/archive/pdf/en/02_guidance_on_the_documentation_requirements_of_iso_9001_2008..pdf
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2000). *Guía del Sistema Mundial de Proceso de Datos. OMM-N° 305*. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2007). *Directrices sobre la gestión de datos climáticos. WCDMP-N°60-WMO-TD-N°1376*. Ginebra, Suiza.

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2010). *Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción. OMM-N° 485*. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2010). *Guía del Sistema Mundial de Observación. OMM-N°488*. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial(OMM). (2011). *Guía de prácticas climáticas. OMM-N°100*. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM).(2013). *Guía para la aplicación de un sistema de gestión de la calidad para Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales. OMM-N°1100*. Ginebra,Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2015). *Manual del Sistema Mundial de Observación (Vol. 1). OMM N° 544* . Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2017). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. OMM-N° 8*. Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial, OMM. (2019). *Manual del Marco Mundial de Gestión de Datos Climáticos de Alta Calidad.OMM-N°1238*. Ginebra,Suiza.
- Picado, R. y Tencio, F. (2016). *Informe de Gira.IMN-DRMPD-FORM-004*. San José, Costa Rica.
- Picado, R. y Tencio, F. (2016). *Manual de procedimientos de Instalación y Mantenimiento de las Estaciones Meteorológicas Automáticas.Procedimientos Operativos Estandarizados*. San José, Costa Rica .
- Solano, J. y Villalobos, R. (s. f.). *Regiones y subregiones climáticas de Costa Rica*. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Regionalizaci%C3%B3n+cli+m%C3%A1tica+de+Costa+Rica>
- Solano, J. y Villalobos, R. (2011). Aspectos Fisiográficos aplicados a un Bosquejo de Regionalización Geográfico Climático de Costa Rica. Gestión de Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional, San José, Costa Rica. https://www.researchgate.net/publication/228799654_Aspectos_Fisiograficos_aplicados_a_un_Bosquejo_de_Regionalizacion_Geografico_Climatico_de_Costa_Rica?enrichId=rgreq-71dee488e6e653ca8100aed03b87096b-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzlyODc5OTY1NDtBUzoyMDE1MzA0OTQ5ODQxOTJAMTQyNTA2MDAyMjAzNA%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf
- Soto, D. (2020). *MeteoQC: Control de Calidad Datos EMAs. IMN-DRMPD-INST-003*. San José, Costa Rica.
- Tencio, F. (2016). *Control de Calidad y Procesamiento de Datos EMAs. Uso de MeteoQc, SEMA V2. IMN-DRMPD-INST-001*. San José, Costa Rica.
- Tencio, F. (2020). *Control entrega y procesamiento datos. IMN-DRMPD-FORM-005*. San José, Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO 1. Formulario entrevista Área Red Meteorológica.

1. ¿Cuántos años de experiencia tiene usted en la realización del mantenimiento preventivo/correctivo de las EMEM?
2. Cuando realiza la recolección de datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), ¿Realiza usted algún tipo de verificación de las mediciones?
Especifique cuales son los procedimientos a seguir
3. Durante una visita a una estación meteorológica mecánica (EMM) y procede a recoger la papelería correspondiente, ¿Efectúa usted algún tipo de revisión a las hojas de campo/bandas? De ser así, explique.

Medidor de Lluvia

4. Describa de manera breve los procedimientos que realiza durante el mantenimiento preventivo del pluviómetro.
5. ¿Qué procedimientos realiza durante el mantenimiento preventivo del pluviógrafo?
6. En cuanto al PV convencional ¿realiza alguna verificación de los instrumentos?
7. ¿Cuáles son los problemas más frecuentes que ha detectado usted durante el mantenimiento del sensor de lluvia?
8. ¿Cuáles son los problemas más frecuentes que ha detectado usted durante el mantenimiento de los instrumentos asociados a la medición de lluvia (EMM)?
9. Durante el proceso de observación, se producen inevitablemente errores producto de factores ambientales y de la naturaleza.
Señale que elementos/situaciones ha encontrado en el medidor de lluvia asociados a la descripción anterior.
10. ¿Qué medidas ha tomado en función de los posibles factores de error?
11. ¿Cuáles son los obstáculos o elementos más habituales que pueden provocar errores en las observaciones de lluvia y que usted ha percibido entorno al medidor de precipitación?

12. ¿Alguna vez ha propuesto un cambio del emplazamiento del PV?
13. ¿Usted ha detectado y/o corregido la mala instalación (descalibrado, no alineado...) de un sensor/instrumento?
14. ¿Cree usted que las lecturas realizadas por el observador no son 100% confiables? ¿Por qué? ¿Ha sido testigo de una mala lectura?
15. ¿Usted alguna vez ha consultado a los observadores sobre los procedimientos realizados durante la lectura de los instrumentos?

ANEXO 2. Formulario entrevista Área Gestión de Datos.

1. El IMN cuenta con datos provenientes de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) y estaciones meteorológicas mecánicas (EMM), ¿A cuál tipo de estación meteorológica le efectúa usted el procesamiento y/o control de calidad?
2. ¿Durante el procesamiento de datos realiza usted algún tipo de control de calidad?
3. ¿Cuántos años/meses de experiencia tiene usted en la realización del control de calidad de datos meteorológicos?
4. ¿Durante la verificación de los datos meteorológicos, utiliza usted algún tipo de material de apoyo? Especifique
5. Describa de manera breve los procedimientos que realiza durante la validación de la información.
6. En el caso de las EMA, el IMN cuenta con un software llamado MeteoQC, ¿Conoce usted con detalle los algoritmos y pruebas de validación que este contiene?

Para el caso específico de la Precipitación:

7. En el caso del control de calidad para la precipitación de las EMA, además de aplicar los controles establecidos en MeteoQC, ¿efectúa usted algún otro procedimiento adicional? ¿Utiliza la opción de correlación que es implementada en el mismo programa? Explique
8. En cuanto a las EMM y el caso específico de la lluvia, ¿qué proceso utiliza usted para la verificación de la información?
9. ¿Que toma en cuenta para determinar que la precipitación medida es correcta?
10. ¿Durante el control de calidad de la lluvia, establece usted alguna relación con algún otro parámetro meteorológico? En caso afirmativo explique
11. ¿Investiga y/o toma en cuenta la ubicación, exposición del pluviómetro (o cualquier otro medidor de lluvia) o algún metadato disponible? En caso

afirmativo, que medidas toma usted en consideración si existe alguna afectación sobre el sensor/instrumento.

12. Ligado a la pregunta anterior, si en un informe de gira se menciona que existen obstáculos a pocos metros del equipo, y existe lluvia dentro del rango normal, ¿cuál es su accionar con respecto al dato?

13. Cuando se reporta daños en el instrumento o fallas en el sensor, y no se tiene certeza de cuando inició el problema, ¿cómo procede usted con la eliminación de la medición?

14. ¿Cuáles son las fuentes de error que ha logrado detectar durante el control de calidad?

15. Para el caso de los datos EMM, ¿existe algún momento en donde no confía fielmente en la lectura que realiza el observador meteorológico?

16. Siguiendo con el tema de las EMM ¿realiza alguna comparación entre EMM?

17. ¿Ha detectado pérdidas de lluvia significativa o al contrario una cantidad de lluvia mayor de la esperada? Hablando de EMM ¿usted cree que esto puede deberse a una mala lectura por parte del observador meteorológico?

18. ¿Al elaborar los informes de control de calidad (si los realiza) señala usted la cantidad y fecha de lluvia acumulada por pruebas del sensor? ¿o algún detalle sobre lluvia "ficticia"?

19. ¿En la BD (ya con control de calidad) ha encontrado valores de precipitación sospechosos?

20. ¿Qué factores o tipo de resultados le hacen creer que las mediciones no son fiables?

ANEXO 3. Formulario de inspección del punto de observación: Pluviómetro Estación Meteorológica Convencional.

Fecha de Visita: _____

- Información Básica

Nombre (Según nómina)		
ID		
Elevación (msnm)		
Coordenas Geográficas	Latitud (N)	
	Longitud (O)	

- Condiciones de la vegetación y topografía

Vegetación							
Cubierta	Escasamente vegetado	Arbustos cerrados	Tierra de Cultivo	Bosque	Humedal	Sabana	Urbana
()	()	()	()	()	()	()	()

Descripción Topográfica:

- Instrumento y Programa de Observación

Parámetro medido: _____

Instrumento (Equipo de Medición)	
Altura:	
Características	Condiciones de la base sobre el cual está montado

Exposición del Instrumento	
Dirección predominante del Viento:	
Posibles objetos que provoquen salpicadura o representen una obstrucción para las mediciones	Distancia a objetos más cercanos

Observador y Programa de Observación		
Existe un único observador?	sí ()	no ()
Si su respuesta es sí, continúe con la sección observador de lo contrario detalle en las siguientes casillas		
Cargo que desempeña (s) en el sitio del emplazamiento:		
Descripción del rol para la toma de observaciones:		
Observador		
Nombre Contacto IMN:		
Teléfono:		
Correo electrónico:		
Nombre Observador:		
Experiencia en las observaciones (años):		

Si existe problemas con el instrumento o se da alguna situación en el lugar del emplazamiento ¿Notifica al personal del IMN? ¿Cuándo? ¿A quién?	
Programa de Observación	
Horas a las que se hace la observación:	
¿Como hace las observaciones? (¿Días feriados, ausencias ...patrón de medición ?)	
Descripción Envío de la información:	

- Mantenimiento Preventivo

Descripción detallada del mantenimiento del Instrumento por parte de los funcionarios del IMN:

- Conclusiones y Recomendaciones

- Riesgo

Riesgo		
Riesgo Identificado	Probabilidad	Impacto

ANEXO 4. Formulario de inspección del punto de observación: Pluviómetro Estación Meteorológica Automática.

Fecha de Visita: _____

- Información Básica

Nombre (Según nómina)		
ID		
Elevación (msnm)		
Coordenas Geográficas	Latitud (N)	
	Longitud (O)	

- Condiciones de la vegetación y topografía

Vegetación							
Cubierta	Escasamente vegetado	Arbustos cerrados	Tierra de Cultivo	Bosque	Humedal	Sabana	Urbana
()	()	()	()	()	()	()	()

Descripción Topográfica:

- Sensor y Programa de Observación

Parámetro medido: _____

Sensor (Equipo de Medición)	
Altura:	
Distancia a la Torre:	
Características	Condiciones de la base sobre el cual está montado
Fabricante:	
Modelo:	
Número de Serie:	

Exposición del Sensor	
Dirección predominante del Viento:	
Posibles objetos que provoquen salpicadura o representen una obstrucción para las mediciones	Distancia a objetos más cercanos

Programa de Observación	
Unidad de Medida:	
Descripción Método de Medición:	
Descripción Algoritmo de Programación (Cálculo):	

Resolución y Precisión:	
Resolución Temporal:	
Intervalo de muestreo:	
Procedimiento de corrección:	
Forma de Transmisión de datos:	

- Mantenimiento Preventivo

Descripción detallada del mantenimiento del Instrumento por parte de los funcionarios del IMN:

- Conclusiones y Recomendaciones

- Riesgo

Riesgo		
Riesgo Identificado	Probabilidad	Impacto

ANEXO 5. MET1.

IMN
Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1959

MET 1
Instituto Meteorológico Nacional

MINAE
Ministerio de Ambiente y Energía

Nombre: _____

Mes: _____

Número: _____

Año: _____

DIA	LLUVIA DIARIA
	7am - 7am
	Milímetros
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
TOTAL Mensual:	0,0

NOTA: Las lecturas deben anotarse en la casilla correspondiente a la fecha que son leídas

Observaciones:

Fuente: DRMPD

ANEXO 6. MET3.

IMN
Instituto Meteorológico Nacional
Fundado en 1949

MET 3
Instituto Meteorológico Nacional

Minae
Ministerio de Ambiente y Energía

Nombre: _____

Mes: _____

Número: _____

Año: _____

DIA	LLUVIA DIARIA	DIA	TEMPERATURAS	
	7am - 7am Milímetros		MÁXIMAS Grados °C	MÍNIMAS Grados °C
1		1		
2		2		
3		3		
4		4		
5		5		
6		6		
7		7		
8		8		
9		9		
10		10		
11		11		
12		12		
13		13		
14		14		
15		15		
16		16		
17		17		
18		18		
19		19		
20		20		
21		21		
22		22		
23		23		
24		24		
25		25		
26		26		
27		27		
28		28		
29		29		
30		30		
31		31		
TOTAL Mensual:			0,0	

Fuente: DRMPD

ANEXO 7. Fotografías de las visitas de campo

Pluviómetro EMM 73018.



Fuente: Gira de campo.

Soporte pluviómetro EMM 84111.



Fuente: Gira de campo.

Pluviómetro EMM 84135.



Fuente: Gira de campo.

Pluviómetro EMA 84141.



Fuente: Gira de campo.

ANEXO 8. Control de riesgos.

Riesgo Identificado	Tipo de Riesgo	Probabilidad	Impacto	Medida de Acción (Eliminar-Mitigar-Aceptar)	Propuesta de Tratamiento del Riesgo	Recursos necesarios para Tratamiento del Riesgo	Fecha de aplicación del Tratamiento	Responsable

Fuente: Elaboración propia.