



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**ESTUDIO DE LAS FALLAS EN LOS MEDIDORES  
DE ENERGIA ELECTRICA**

Autor

Sebastián Patiño Gallego

Universidad de Antioquia

Facultad De Ingeniería, Departamento De Ingeniería  
Eléctrica

Medellín, Colombia

2019



Estudio De Las Fallas En Los Medidores De Energía Eléctrica

**Sebastián Patiño Gallego**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Electricista**

Asesores:

Nelson Londoño Ospina

Javier Ramírez Arbeláez

Universidad de Antioquia

Facultad De Ingeniería, Departamento De Ingeniería Eléctrica

Medellín, Colombia

2019.

# ESTUDIO DE LAS FALLAS EN LOS MEDIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

---

## 1 Resumen

En este informe se habla a cerca de las fallas que se presentan en los medidores de energía eléctrica de los usuarios que pertenecen a Empresas Públicas de Medellín. La falla en los medidores de energía eléctrica, ha ocasionado que Empresas Públicas de Medellín deba realizar 50.000 cambios de medidores de energía aproximadamente, durante cada uno de los últimos 3 años en todo el territorio Antioqueño. Cifra que representa para la empresa costos significativos en la parte operativa, ya que entre el 30% y 40% de estos cambios se han hecho por concepto de que el medidor estuviese malo. Se encontró que en ocasiones que se realizó el cambio del medidor de energía a una misma instalación durante 3 o 4 veces en el mismo año. Dado que muchos de estos medidores aun contaban con la garantía vigente, es obligación de Empresas Públicas de Medellín realizar el cambio sin realizar algún tipo de cobro al usuario. Adicionalmente, la mayoría de estos cambios se han presentado en las zonas rurales, por lo cual hace que el recurso humano deba desplazarse a zonas en las que el tiempo de viaje se incrementa debido al difícil acceso.

Inicialmente se levantó la información de los circuitos en los que más se presenta el fenómeno de cambios de medidores, con la característica de que se hubiera realizado por que el equipo estuviera malo. Así de esta forma se pudo identificar las zonas más afectadas realizando mapas de calor. Además, con el apoyo de información que suministra la NTC y el IDEAM, se pudo realizar cruces de información para determinar hipótesis con las posibles causas que ocasionan el fenómeno.

Adicionalmente, también se obtuvo información de estudios similares, la cual fue buscada en bases de datos bibliográficas, y que refuerzan las hipótesis planteadas. Finalmente, con la información obtenida, se puede realizar un direccionamiento asertivo para realizar visitas de campo y comprobar las hipótesis.

## 2 Introducción

En la actualidad, la energía eléctrica se ha convertido en una necesidad fundamental para el funcionamiento de industrias, comercios, hogares y demás, quienes requieren de una disponibilidad del recurso energético durante las 24 horas del día. Esto se puede lograr gracias a la cadena de la energía eléctrica que consta de cuatro etapas: generación, transmisión, distribución y comercialización.

Para poder llevar a cabo la etapa de comercialización es necesario medir y/o cuantificar la energía que consume cada usuario final (industrias, comercios, hogares y demás), ya que son estos los que garantizan, a través del consumo facturado, la rentabilidad y sostenimiento de la cadena de energía eléctrica, además de los diferentes agentes que se encargan de su operación, entre esas EPM.

Desde los inicios de EPM, el patrimonio y rentas son propios, y están totalmente separados de los bienes y de los fondos comunes del Municipio de Medellín. EPM no cuenta con aportes externos diferentes a la facturación por la prestación de sus servicios públicos domiciliarios, [1] entre esos el de energía. Por tal motivo, es de gran importancia tener los sistemas de medición de los diferentes servicios públicos domiciliarios en óptimas condiciones de operación, ya que un equipo de medición en mal estado o dañado, afecta la facturación.

EPM cambia aproximadamente 40.000 medidores de energía al año, donde en muchas ocasiones se está haciendo el cambio de medidor de una misma instalación hasta tres y cuatro veces en el año. Esta repetitividad de cambio da muestra de que está sucediendo un fenómeno del cual ya se tienen algunos indicios, pero al que aún no se le ha realizado un estudio riguroso. Además, antes de efectuar el cambio de un medidor, puede pasar un periodo de tiempo considerable en el cual no se registre el consumo, lo que se traduce en pérdidas económicas para EPM.

El alcance de este informe pretende identificar las zonas y/o circuitos con más cambios de medidores, y tratar de identificar cual puede ser la causa o influencia que ocasiona el fenómeno de cambios de medidor. Como metodología para lograrlo se pretende realizar consultas en las bases de datos que reposan en los sistemas de información de EPM, además de buscar en bases de datos bibliográficas con información de interés que esté relacionada.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Desarrollar un estudio de fallas de los medidores de energía eléctrica en Antioquia, tomando como insumo el historial de los medidores fallados durante los últimos cinco años, mapeando las zonas de mayor afectación y tomar acciones técnicas a futuro.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Recopilar la información que se tiene a cerca de los medidores dañados en los últimos años.

- Identificar la causa más común que ocasiona el daño en los medidores.
- Mapear las zonas y/o circuitos a los que están asociados la mayor cantidad de medidores dañados.
- Evaluar las soluciones técnicas que sean necesarias para reducir la cantidad de equipos dañados cada año.

## **4 Marco Teórico**

Considerando que el estudio a realizar está enfocado en solucionar una problemática que se presenta en medidores de energía, se tendrá en cuenta el código de medida (Resolución CREG 038 del 14 de mayo de 2014), en donde se define en gran parte todo lo relacionado con la medición de energía eléctrica y cómo está reglamentada [2].

### **4.1 Equipo de medida o medidor**

Dispositivo destinado a la medición o registro del consumo o de las transferencias de energía.

### **4.2 Sistema de medición**

Los sistemas de medición se componen de todos o de algunos de los elementos que se listan a continuación, algunos de los cuales pueden o no estar integrados al medidor:

- Un medidor de energía activa.
- Un medidor de energía reactiva, este medidor puede estar integrado con el medidor de energía activa.
- Un medidor de respaldo.
- Transformadores de corriente.
- Transformadores de tensión.
- Cableado entre los transformadores y el medidor o medidores que permite conducir las señales de tensión y corriente entre estos.
- Un panel o caja de seguridad para el medidor y el registro de los datos.
- Cargas para la compensación del burden de los transformadores de corriente y tensión.
- Un sistema de almacenamiento de datos: constituido por equipos registradores, que acumulan y almacenan los valores medidos de energía de la frontera. Estos equipos pueden estar integrados o no, al medidor.
- Los dispositivos de interfaz de comunicación que permitan la interrogación local, remota y la gestión de la información en los términos previstos en la presente resolución. Estos equipos pueden estar integrados o no, al medidor.
- Facilidades de procesamiento de información o los algoritmos, software, necesarios para la interrogación y el envío de la información.

- Esquemas de seguridad y monitoreo que permitan proteger los equipos del sistema de medida y realizar seguimiento a las señales de aviso que presenten los mismos.
- Bloques de borneras de prueba o elemento similar que permita separar o reemplazar los equipos de medición de forma individual de la instalación en servicio, así como intercalar o calibrar in situ los medidores y realizar las pruebas y mantenimientos a los demás elementos del sistema de medición. Estos equipos pueden estar integrados o no, al medidor y deben permitir la instalación de sellos.

### **4.3 Instalación**

En EPM, el término instalación se refiere al inmueble que cuenta con al menos uno de los servicios públicos domiciliarios que la empresa ofrece, ya sea agua, energía o gas.

### **4.4 Página**

Se refiere a un número de 18 dígitos, en el cual está codificada la información de una instalación, tal como el municipio y la dirección. Con este número, queda más fácil realizar búsquedas en las bases de datos que reposan en EPM.

### **4.5 Marca de un medidor**

Se refiere al nombre del fabricante

### **4.6 Tipo de un medidor**

Término utilizado para definir un diseño particular de medidor, hecho por un fabricante, y que tiene:

- Propiedades metrológicas similares.
- La misma construcción uniforme de las partes que determinan esas propiedades.
- La misma relación de la corriente máxima a la corriente de referencia.

El tipo puede tener varios valores de corriente de referencia y tensión de referencia. Los medidores son denominados por el fabricante, mediante uno o más grupos de letras o números, o mediante una combinación de letras y números. Cada tipo tiene una sola denominación.

### **4.7 Serie de un medidor**

Es un código alfanumérico único asignado por el fabricante del medidor para su identificación.

#### 4.8 Subregiones de Antioquia

EPM, tiene clasificadas diferentes zonas del departamento de Antioquia, a las cuales se les denomina subregiones. En cada subregión, se reparten los 125 municipios que pertenecen a Antioquia. A continuación, en la Tabla 1 se muestra la distribución de cada subregión y los municipios que tiene asociados. Cabe resaltar que Medellín aparece en dos subregiones, esto es porque la zona norte de Medellín pertenece a Norte Metropolitano y la zona sur de Medellín pertenece a Sur Metropolitano.

Tabla 1: Clasificación de las subregiones y municipios en Antioquia.

SUBREGION	MUNICIPIO	SUBREGION	MUNICIPIO
<b>NORTE METROPOLITANO</b>	Barbosa	<b>SUR METROPOLITANO</b>	Caldas
	Bello		Envigado
	Copacabana		Itagüí
	Girardota		La Estrella
	Medellín		Medellín
<b>URABA</b>	Apartadó	<b>NORTE REGIONAL</b>	Sabaneta
	Arboletes		Angostura
	Carepa		Belmira
	Chigorodó		Briceño
	Murindó		Campamento
	Mutatá		Don Matías
	Necoclí		Entreríos
	San Juan De Urabá		Ituango
	San Pedro De Urabá		San Andrés De Cuerquia
	Turbo		San José De La Montaña
Vigía Del Fuerte	San Pedro De Los Milagros		
<b>ORIENTE</b>	Abejorral	<b>NORDESTE</b>	Santa Rosa De Osos
	Aleandría		Toledo
	Argelia		Valdivia
	Cocorná		Yarumal
	Concepción		Amalfi
	El Carmen De Viboral		Anorí
	El Santuario		Caracolí
	Granada		Carolina
	Guarne		Cisneros
	Guatapé		Gómez Plata
	La Ceja		Guadalupe
	La Unión		Maceo
	Marinilla		Puerto Berrío
	Nariño		Puerto Nare
	Peñol		Remedios
	Puerto Triunfo		San Roque
	Retiro		Santo Domingo
	Rionegro		Segovia
	San Carlos		Vegachí
	San Francisco		Yalí
San Luis	Yolombó		
San Rafael			

	San Vicente Ferrer		Yondó
	Sonsón		
<b>SUROESTE</b>	Amagá	<b>BAJO CAUCA</b>	Cáceres
	Andes		Caucasia
	Angelópolis		El Bagre
	Armenia		Nechí
	Betania		Tarazá
	Betulia		Zaragoza
	Caramanta		Abriaquí
	Ciudad Bolívar	Anzá	
	Concordia	Buriticá	
	Fredonia	Caicedo	
	Heliconia	Cañasgordas	
	Hispania	Dabeiba	
	Jardín	Ebéjico	
	Jericó	Frontino	
	La Pintada	Giraldo	
	Montebello	Liborina	
	Pueblorrico	Olaya	
	Salgar	Peque	
	Santa Bárbara	Sabanalarga	
	Támesis	San Jerónimo	
Tarso	Santa Fe De Antioquia		
Titiribí	Sopetrán		
Valparaíso	Uramita		
Venecia	Urao		
		<b>OCCIDENTE</b>	

## 4.9 Mapa de calor

Los mapas de calor son muy útiles cuando se tienen conjuntos de datos muy grandes ya que permiten representar en un mapa, la densidad de puntos o elementos que conforman una tabla. Generalmente, las zonas donde se encuentran más puntos cercanos entre sí, toman colores rojizos para representar que ahí se concentra más el fenómeno al cual se está realizando análisis. A medida que la concentración de puntos disminuye, el color que representa la concentración también cambia a colores más fríos, como el verde o el azul.

## 5 Metodología

### 5.1 Búsqueda de la información en las bases de datos de EPM

Para efectos de la investigación, se tuvo en cuenta la información de los cambios de medidor realizados desde el año 2014 hasta el mes de noviembre de 2019. La base de datos TRANSACCIONES de la empresa EPM, es la que contiene la información buscada.

Los criterios de búsqueda usados para filtrar la información y obtener resultados más acertados fueron:



- AGRUPADOR LABOR=04: El agrupador es un parámetro que se utiliza para clasificar el tipo de actividad que una cuadrilla realiza en una instalación, en este caso, el agrupador 04 significa que la cuadrilla realizó un cambio de medidor.
- ESTADO LABOR = EJECUTADA: El estado de la labor es un parámetro que indica si una Orden de Trabajo (OT) está pendiente, asignada, programada, vencida, o ejecutada.
- Observaciones que contengan palabras claves como “quemado”, “malo”, “dañado”, “apagado”: la observación, es un parámetro que ingresa la cuadrilla en el momento que se encuentra en una instalación ejecutando una OT. Este parámetro se ingresa en forma de prosa, es decir, es un texto libre que redacta el encargado donde indica algunos procedimientos que se realizaron en el momento.

Con la base de datos y filtros de búsqueda definidos, se consultó la información asociada a la instalación en la que se haya efectuado al menos un cambio de medidor desde el año 2014, los datos consultados fueron: página, marca del medidor retirado, tipo del medidor retirado, serie del medidor retirado, ubicación (urbana o rural), municipio, subregión, coordenadas, numero de transformador, numero de circuito, subestación, numero de orden de trabajo y fecha de atención de la orden de trabajo.

La información consultada fue organizada en una tabla de Excel para poder organizar tablas dinámicas que permitieran clasificarla y analizarla.

Gracias a que la herramienta Excel cuenta con una función de mapas, se pudo tomar los datos de las coordenadas de la instalación y realizar mapas de calor, georreferenciando las zonas donde están ubicados los circuitos con más cambios de medidor para cada uno de los años consultados.

## **5.2 Cruce de la información obtenida con factores que pueden afectar la electrónica de medidores**

Con el ánimo de validar la información obtenida y de buscar factores que influyen en la causa raíz de falla en los medidores, y teniendo en cuenta que los medidores usados al día de hoy son casi en su totalidad electrónicos, se cruzó la información obtenida con la NTC 4552 que trata el tema de descargas atmosféricas y con información publicada por el IDEAM.

### 5.3 Estado del arte: búsqueda de información relacionada en bases de datos bibliográficas.

Con la biblioteca epm y su programa de vigilancia estratégica, el cual se enfoca en realizar búsquedas relacionadas con cierto tema en específico, dentro de las diferentes bases de datos académicas que hay en el mundo, se realizó una vigilancia relacionada con el tema de cambio de medidores por fallas en los mismos. Las bases de datos bibliográficas consultadas fueron tales como IEEE, ScienceDirect, etc. Del resultado de la investigación se resaltaron dos artículos cuya información e investigación se acercaba al objetivo de este documento.

## 6 Resultados y análisis

### 6.1 Resultados obtenidos de las bases de datos de EPM

A continuación, en la Tabla 2 se muestra la información del cambio de medidores entre 2014 y noviembre de 2019 clasificada por subregiones, ordenada de mayor a menor, donde Urabá es la región con más cambios y Occidente la región con menos cambios. Los datos de cambios de medidor fueron obtenidos por medio de los filtros de búsqueda descritos en 5.1:

Tabla 2: Cambios de medidor entre 2014 y noviembre de 2019 clasificados por subregión.

<b>CAMBIOS DE MEDIDOR 2014-2019 - POR SUBREGION</b>			
<b>Subregión</b>	<b># Instalaciones</b>	<b># Cambios</b>	<b>% Cambios</b>
Urabá	201.042	18.887	9,39%
Sur Metropolitano	940.481	12.850	1,37%
Oriente	302.868	12.030	3,97%
Nordeste	137.738	11.243	8,16%
Norte Metropolitano	605.519	9.448	1,56%
Bajo Cauca	114.998	7.917	6,88%
Suroeste	152.910	6.849	4,48%
Norte Regional	96.171	6.032	6,27%
Occidente	106.547	5.193	4,87%
<b>TOTAL</b>	<b>2.658.274</b>	<b>90.449</b>	<b>3,40%</b>

De la tabla anterior se puede apreciar que hay subregiones que se clasifican por encima de otras en cantidad de cambios de medidor, pero respecto al total de instalaciones que tienen asociadas, representan un porcentaje mucho menor que otras subregiones que están por debajo. Por ejemplo, SUR METROPOLITANO ocupa el puesto número 2 en cambios de medidor, con 12.850 cambios que representan el 1,37% del total de las instalaciones que se encuentran en esa subregión. Por el contrario, OCCIDENTE ocupa el último puesto con 5.193 cambios de medidor, pero con un porcentaje de 4,87% en comparación con el total de instalaciones que se encuentran asociadas a la subregión. Por lo tanto, según el análisis anterior, no parece ser conveniente clasificar la información solo

por la subregión, es pertinente tener otro criterio para clasificar la información e identificar las zonas donde se presenta en mayor parte el fenómeno de cambios de medidor.

Por lo anterior, en la Tabla 3 se clasificó la información de cambios de medidor para cada uno de los años, en los que se tiene en cuenta el cambio total de medidores, el cambio de medidores por concepto de estar “quemado”, “malo”, “dañado” o “apagado”, y el porcentaje que esto representa respecto del total de cambio de medidores, y si el cambio se da en una zona urbana o rural:

Tabla 3: Cambios de medidor entre 2014 y noviembre de 2019.

<b>CAMBIOS DE MEDIDOR 2014-2019 – POR AÑO</b>							
<b>Año</b>	<b>Cambios de medidor “quemado” “malo” “dañado” “apagado”</b>					<b>Cambios de medidor por año</b>	<b>%</b>
	<b>ZONA</b>				<b>TOTAL</b>		
	<b>Urbana</b>	<b>% Urbana</b>	<b>Rural</b>	<b>% Rural</b>			
<b>2014</b>	4.490	42,97%	5.958	57,03%	10.448	30.960	33,75%
<b>2015</b>	4.079	42,48%	5.524	57,52%	9.603	29.168	32,92%
<b>2016</b>	7.660	43,64%	9.892	56,36%	17.552	46.350	37,87%
<b>2017</b>	8.459	40,98%	12.181	59,02%	20.640	55.210	37,38%
<b>2018</b>	8.179	46,49%	9.415	53,51%	17.594	57.716	30,48%
<b>2019</b>	7.782	53,26%	6.830	46,74%	14.612	55.243	26,45%
<b>TOTAL</b>	<b>40.649</b>	<b>44,94%</b>	<b>49.800</b>	<b>55,06%</b>	<b>90.449</b>	<b>274.647</b>	<b>32,93%</b>

En la tabla anterior se aprecia que los medidores cambiados entre 2014 y noviembre de 2019 suman un total de 274.647, donde los medidores que fueron cambiados porque estaban “quemados”, “malos”, “dañados” o “apagados”, suman 90.449, que representa el 32,93 % del total. Se puede observar que el 2018 fue el año en que más cambios de medidor se registraron, con un total de 57.716, donde el 30,48 % representa la cantidad de medidores cambiados que estaban “quemados”, “malos”, “dañados” o “apagados”, con un total de 17.594. Sin embargo, es el año 2016 que tuvo un porcentaje de cambios mayor, respecto al total de medidores cambiados en ese año, con un valor de 37,87 %.

De la tabla también se puede apreciar que el porcentaje de cambios de medidores “quemado”, “malo”, “dañado” o “apagado, se mantiene entre el 53 % y el 59 % para las zonas rurales, con excepción del 2019 que tiene un porcentaje de 46,74 % en la zona rural. Este valor pudo aumentar o disminuir, aunque de una manera no tan significativa, dado que la información analizada fue hasta noviembre de 2019.

Teniendo en cuenta los resultados de las tablas anteriores, se clasificó la información seleccionando los 10 circuitos con mayor número de cambios de

medidores “quemado”, “malo” “dañado” o “apagado”, para tener una idea más clara de la zona de influencia del circuito donde se presenta el fenómeno. Esta consideración se hizo para cada uno de los años. Luego se hizo un consolidado de todos los años de búsqueda, es decir entre 2014 y noviembre de 2019, pero esta vez considerando los primeros 11 circuitos. Se tomó la decisión de considerar un circuito más dado que en los dos últimos años (2018 y 2019) estuvo presente entre los primeros 10 lugares.

A continuación, en la Fig. 1 se muestra el mapa de calor para el periodo de 2014 a noviembre de 2019, resaltando las zonas de influencia de los circuitos:

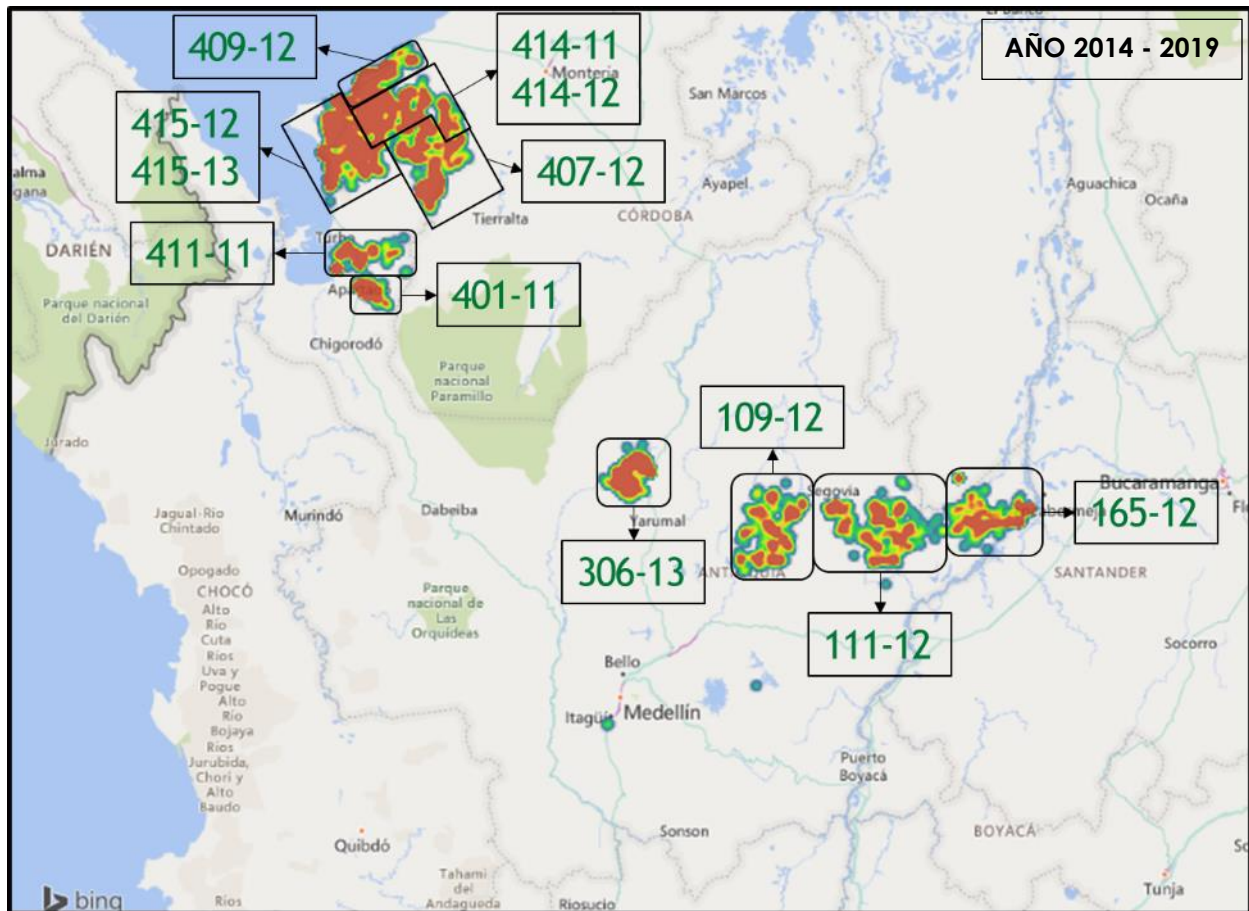


Fig. 1. Mapa de calor con los 12 circuitos con más cambios de medidores entre 2014 y noviembre de 2019 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

A continuación, en la Tabla 4 se muestra la clasificación de los circuitos mapeados en la Fig. 1, en ella se puede observar el número del circuito, la subestación a la que pertenece el circuito, el municipio en el que se presentó el cambio del medidor, el subtotal de cambios de medidor de cada municipio y el total de cambios de cada circuito.

Tabla 4: Clasificación de los 12 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", entre 2014 y noviembre de 2019.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
407-12	San Pedro De Urabá	San Pedro De Urabá	1253	1719
		Arboletes	323	
		Turbo	57	
		Fuera De Antioquia	56	
		Necoclí	30	
415-12	Necoclí	Necoclí	935	1124
		Turbo	189	
409-12	Arboletes	San Juan De Urabá	682	1034
		Arboletes	203	
		Necoclí	149	
414-11	La Toyosa	Arboletes	432	962
		Necoclí	297	
		San Juan De Urabá	233	
411-11	Urabá	Turbo	768	781
		Apartadó	13	
415-13	Necoclí	Necoclí	760	760
165-12	Yondó	Yondó	663	685
		Remedios	19	
		Fuera De Antioquia	2	
		San Roque	1	
401-11	Apartadó	Apartadó	669	676
		Carepa	7	
109-12	Amalfi	Amalfi	625	674
		Yolombó	26	
		Remedios	17	
		Vegachí	6	
111-12	Otu	Remedios	576	652
		Yondó	58	
		Vegachí	18	
306-13	Valdivia	Briceño	573	644
		Valdivia	61	
		Ituango	9	
		Yarumal	1	
414-12	La Toyosa	Arboletes	384	644
		San Pedro De Urabá	245	
		Fuera De Antioquia	15	

De la Tabla 4 se observa que, de los 12 circuitos listados, 8 pertenecen a la subregión de Urabá, 3 pertenecen a la subregión Norte Regional y 1 pertenece a la subregión Nordeste, además, las 6 primeras posiciones las ocupan circuitos de la subregión Urabá. Por lo anterior, se puede ver que la subregión Urabá representa el 66,67 %, la subregión Nordeste representa el 25 % y Norte Regional representa el 8,33 % del cambio de medidores de los 12 circuitos seleccionados.

A continuación, en la Fig. 2 se muestra el mapa de calor para el año 2019, resaltando las zonas de influencia de los circuitos:

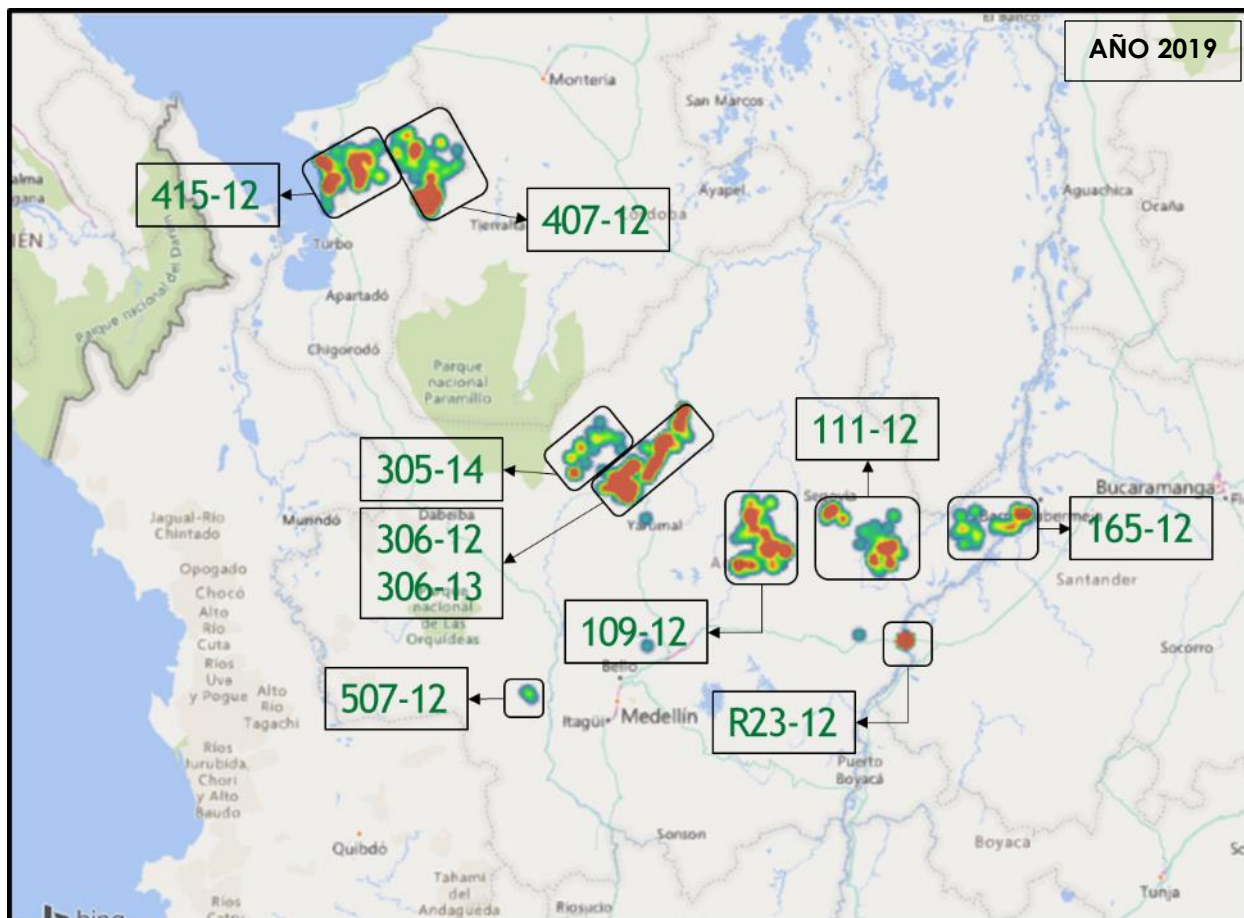


Fig. 2. Mapa de calor con los 10 circuitos con más cambios de medidores entre enero y noviembre de 2019 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

A continuación, en la Tabla 5 se muestra la clasificación de los circuitos mapeados en la Fig. 2, en ella se puede observar el número del circuito, la subestación a la que pertenece el circuito, el municipio en el que se presentó el cambio del medidor, el subtotal de cambios de medidor de cada municipio y el total de cambios de cada circuito.

Tabla 5: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", entre enero y noviembre de 2019.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
407-12	S. Pedro Urabá	San Pedro De Urabá	145	179
		Arboletes	16	
		Turbo	10	
		Necoclí	5	
		Fuera De Antioquia	3	
415-12	Necoclí	Necoclí	111	150
		Turbo	39	
109-12	Amalfi	Amalfi	127	138
		Yolombó	6	
		Remedios	5	
165-12	Yondó	Yondó	120	124

		Remedios	3	
		San Roque	1	
<b>111-12</b>	Otu	Remedios	119	124
		Yondó	3	
		Vegachí	2	
<b>306-13</b>	Valdivia	Briceño	110	121
		Valdivia	8	
		Ituango	3	
<b>305-14</b>	Ituango	Ituango	115	115
<b>R23-12</b>	Malena	Puerto Berrío	109	109
<b>306-12</b>	Valdivia	Valdivia	97	108
		Tarazá	11	
<b>507-12</b>	Betulia	Betulia	88	102
		Anzá	14	

De la Tabla 5 y Fig. 2, se puede observar que 4 circuitos pertenecen a la subregión Nordeste, 3 circuitos pertenecen a la subregión Norte Regional, 2 circuitos pertenecen a la subregión Urabá y 1 circuito pertenece a la Subregión Suroeste. Ver anexo para observar los mapas de calor con los cambios de cada año y su respectiva clasificación.

En aras de tener una visión más clara de cada una de las zonas donde se presenta el fenómeno en el periodo 2014 noviembre 2019, se hace un acercamiento a cada subregión del mapa mostrado en la Fig. 1, para observar donde está más concentrada la información, cascos urbanos o zonas rurales.

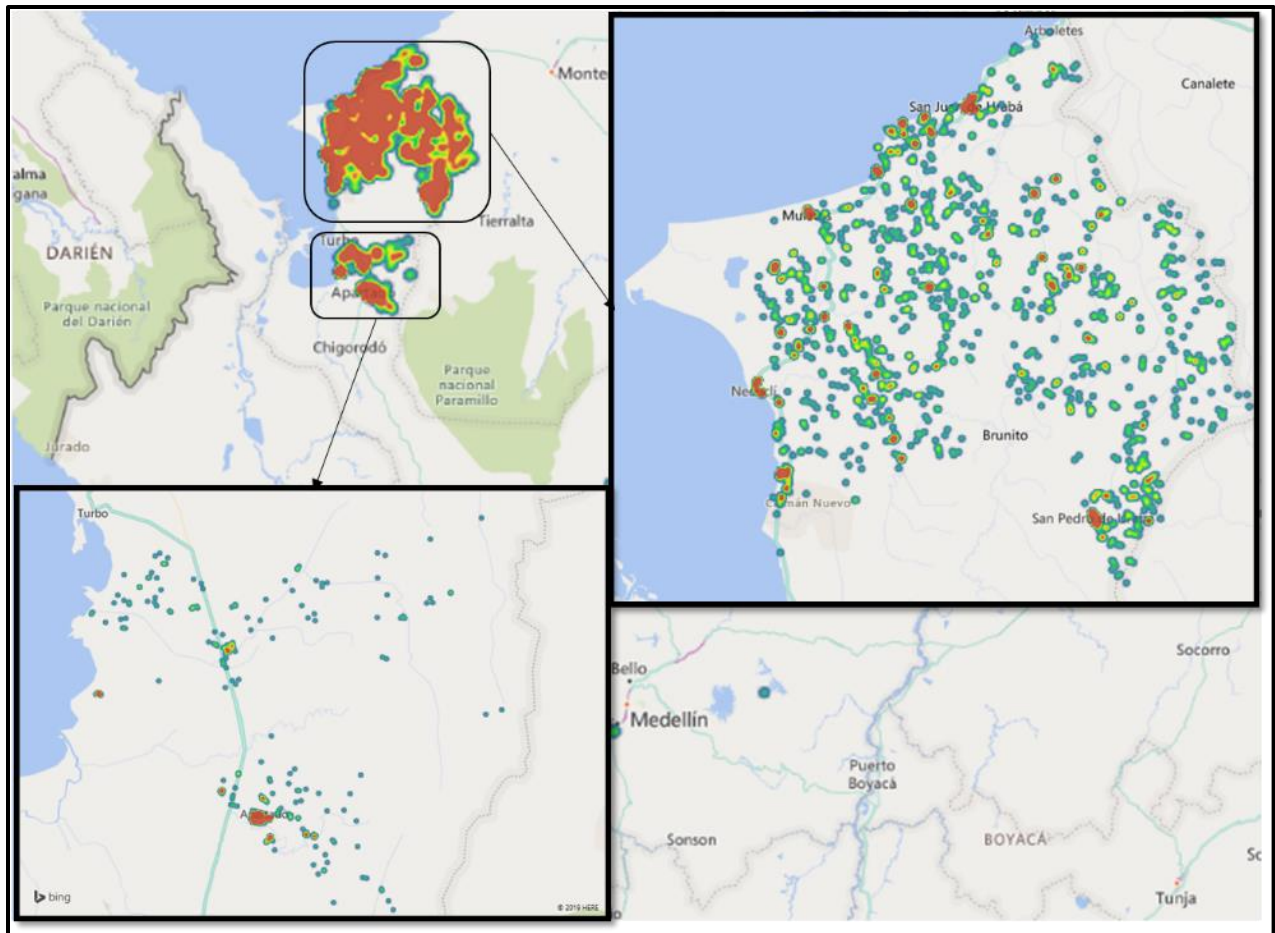


Fig. 3. Mapa de calor con los circuitos con más cambios de medidores de la subregión Urabá entre 2014 y noviembre de 2019 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 6: Circuitos con más cambios de medidores de la subregión Urabá entre 2014 y noviembre de 2019.

CAMBIOS DE MEDIDOR 2014-2019 – URABA						
# Circuito	Subestación	ZONA				TOTAL
		Urbana	% Urbana	Rural	% Rural	
407-12	San Pedro De Urabá	132	8,11%	1.496	91,89%	1.628
415-12	Necoclí	210	19,87%	847	80,13%	1.057
409-12	Arboletes	258	26,93%	700	73,07%	958
414-11	La Toyosa	0	0,00%	935	100,00%	935
411-11	Urabá	134	18,16%	604	81,84%	738
415-13	Necoclí	36	4,93%	694	95,07%	730
401-11	Apartadó	361	56,14%	282	43,86%	643
414-12	La Toyosa	0	0,00%	630	100,00%	630
<b>TOTAL</b>		1.131	15,45%	6.188	84,55%	7.319

De la Fig. 3 y Tabla 6, se puede apreciar que las zonas rurales son las que más peso tienen respecto al cambio de medidores "quemados", "malos", "dañados", o "apagados", con excepción del circuito 401-11 de la subestación



Apartadó que tiene un 56,14 % de cambios en la zona urbana. En general, el 84,55 % de cambios se dieron en la zona rural y el 15,48 % se dieron en la zona rural.

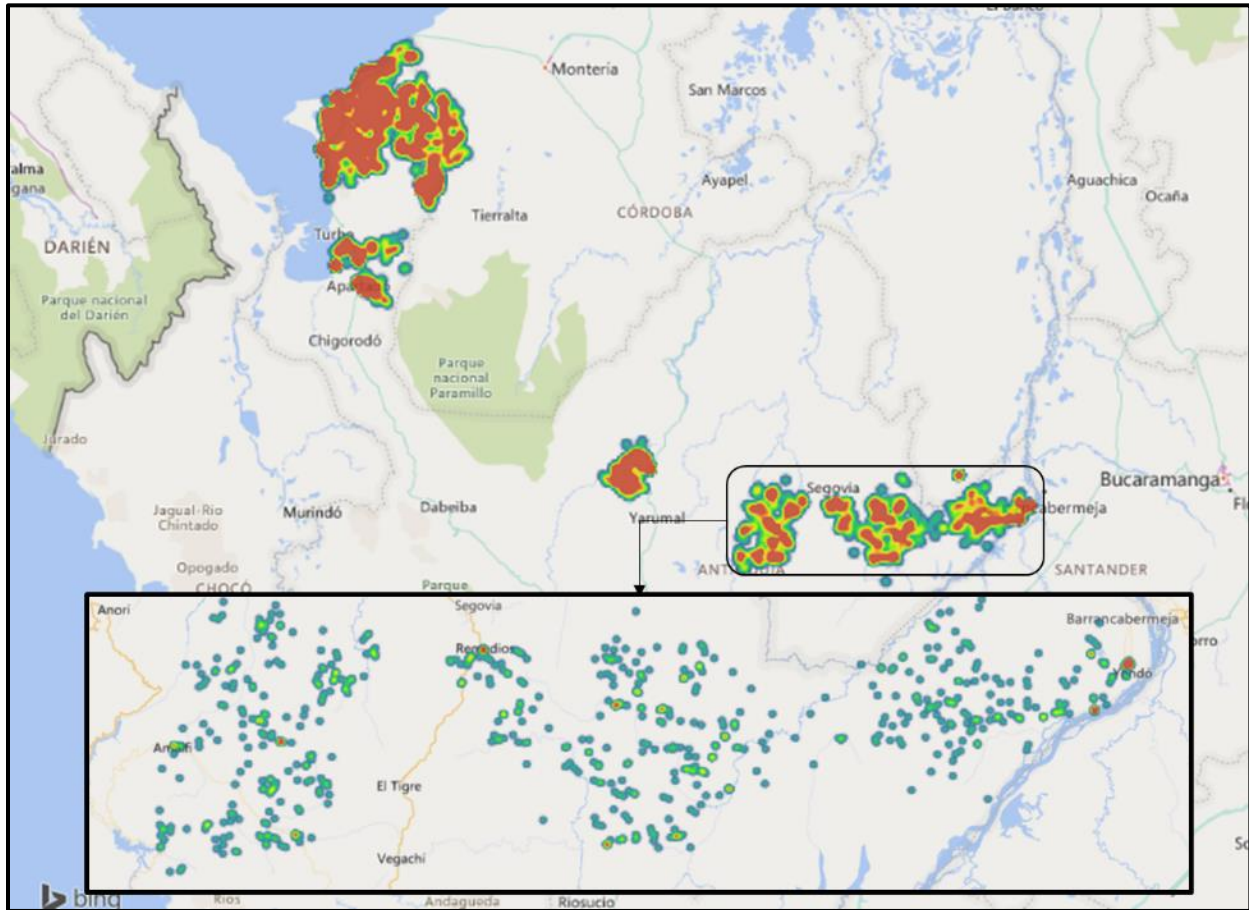


Fig. 4. Mapa de calor con los circuitos con más cambios de medidores de la subregión Nordeste entre 2014 y noviembre de 2019 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 7: Circuitos con más cambios de medidores de la subregión Nordeste entre 2014 y noviembre de 2019.

CAMBIOS DE MEDIDOR 2014-2019 – NORDESTE						
# Circuito	Subestación	ZONA				TOTAL
		Urbana	% Urbana	Rural	% Rural	
165-12	Yondó	88	12,85%	597	87,15%	685
109-12	Amalfi	1	0,15%	673	99,85%	674
111-12	Otu	18	2,76%	634	97,24%	652
<b>TOTAL</b>		107	5,32 %	1.904	94,68 %	2.011

De la Fig. 4 y Tabla 7 se puede observar que, al igual como sucedió en la subregión Urabá, la mayor parte de cambios de medidores se dieron en las zonas rurales, con un porcentaje general de 94,68 %, contra 5,32 % de la zona urbana.

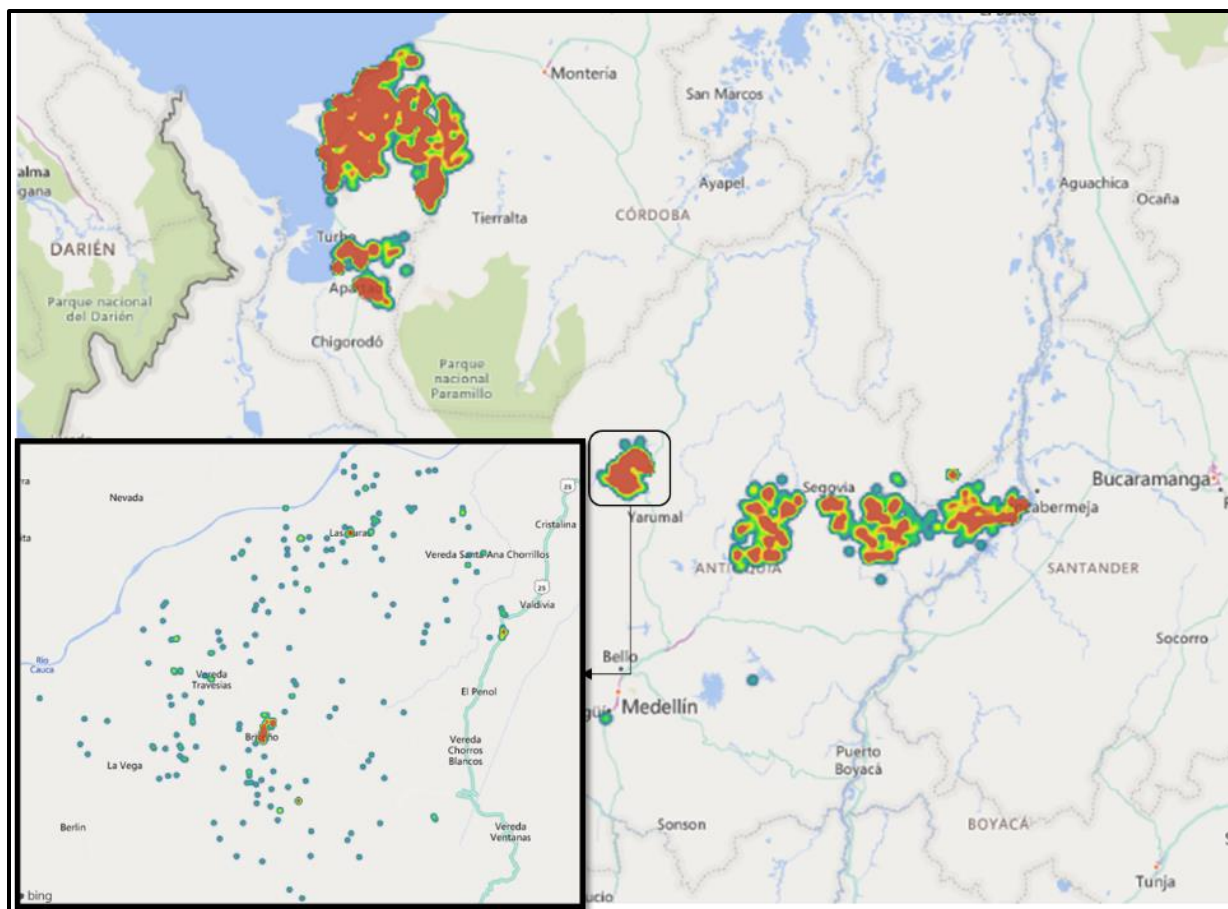


Fig. 5. Mapa de calor con los circuitos con más cambios de medidores de la subregión Norte Regional entre 2014 y noviembre de 2019 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 8: Circuito con más cambios de medidores de la subregión Norte Regional entre 2014 y noviembre de 2019.

CAMBIOS DE MEDIDOR 2014-2019 – NORTE REGIONAL						
# Circuito	Subestación	ZONA				TOTAL
		Urbana	% Urbana	Rural	% Rural	
306-13	Valdivia	101	15,68%	543	84,32%	644

De la Fig. 5 y Tabla 8, se puede apreciar que el único circuito presente de la subregión Norte Regional durante el consolidado de información entre 2014 y noviembre de 2019, y al igual que los circuitos de las subregiones Urabá y Nordeste, la zona rural tiene más peso que la zona urbana, con valores de 84,32 % y 15,68 % respectivamente.

## 6.2 Comparación de los resultados obtenidos con la literatura y estado del arte.

### 6.2.1 Comparación con información suministrada por Unidad de Estudios y Asimilación Tecnológica de EPM.

En EPM, la Unidad de Estudios y Asimilación Tecnológica (UE&AT) realizó un estudio en 2017 cuyo título es “Mejoras operacionales en distribución de energía” en el que implementó una metodología para la selección de infraestructura crítica por descargas atmosféricas [3]. En este estudio identificaron los 6 circuitos con el mayor número de clientes afectados por descargas atmosféricas, duración de la interrupción del servicio por descargas atmosféricas, etc. Con el ánimo de validar si la información y análisis hasta el momento son consecuentes, y si tiene alguna correlación con los circuitos seleccionados por UE&AT, se hace una comparación con el informe mencionado.

A continuación, en la Tabla 9, se muestran los 6 circuitos con el mayor número de clientes afectados por descargas atmosféricas, identificados por UE&AT:

Tabla 9: Circuitos con más clientes afectados por descargas atmosféricas. Adoptada de [3].

<b>CIRCUITO</b>	<b>SUBESTACIÓN</b>
<b>306-12</b>	Valdivia
<b>165-11</b>	Yondó
<b>414-12</b>	La Toyosa
<b>215-12</b>	Juanes
<b>111-12</b>	Otu
<b>218-12</b>	Nariño

A continuación, en la Fig. 6 se hace una comparación de los circuitos que arrojó el resultado del estudio realizado por UE&AT, con el comportamiento de los cambios de medidor en el año 2017 (año que utilizó UE&AT para su estudio).

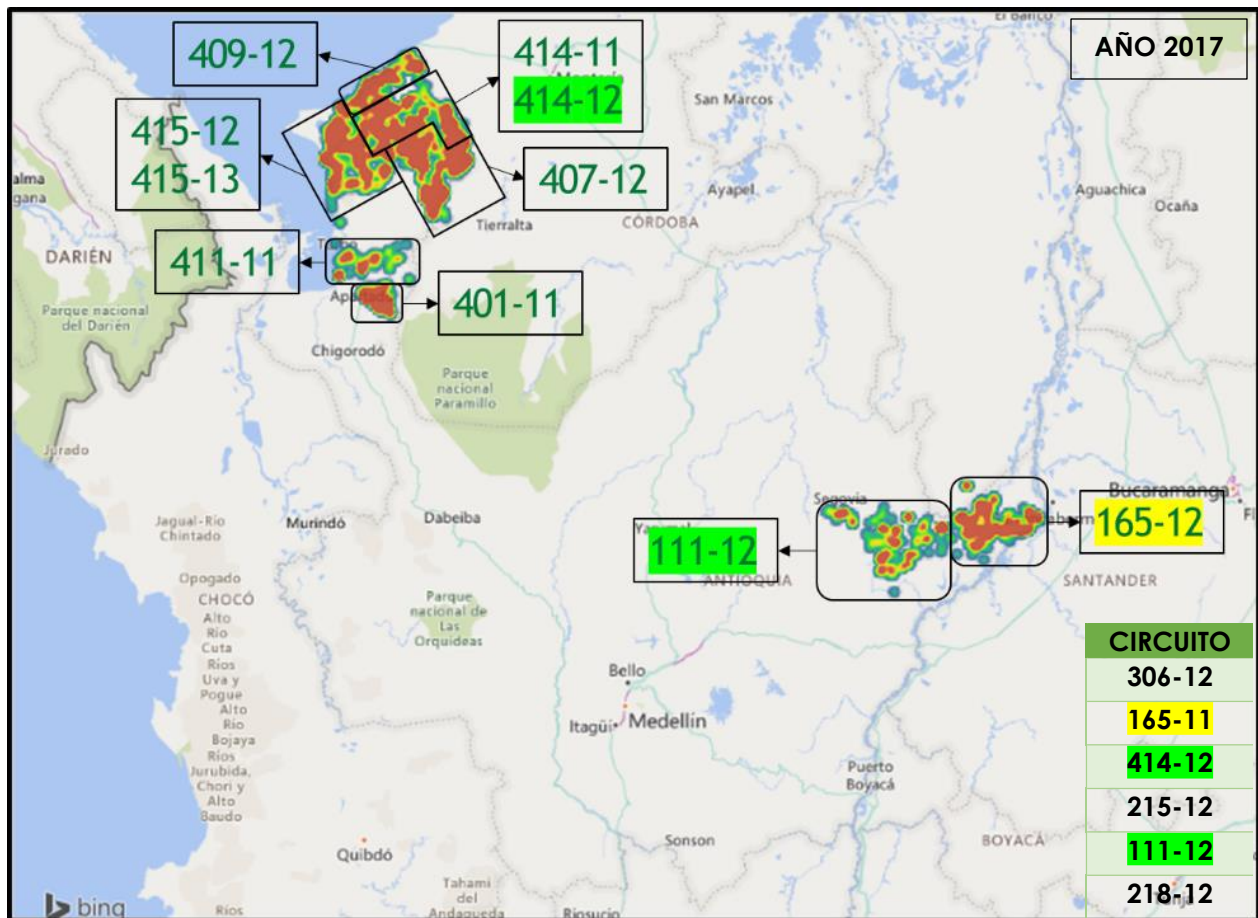


Fig. 6. Comparación entre los circuitos con más cambios de medidor en 2017 y los 6 circuitos identificados por UE&AT con más clientes afectados por descargas atmosféricas.

De la Fig. 6 se puede observar que hay una coincidencia entre los circuitos 111-12 de la subestación OTU cuya mayor influencia es en el municipio de Remedios de la subregión Nordeste, y 414-12 de la subestación LA TOYOSA cuya influencia se da en los municipios de Arboletes y San Pedro De Urabá de la subregión Urabá. De manera similar, en los resultados de UE&AT aparece el circuito 165-11 y en el estudio de los cambios de medidor aparece el circuito 165-12, si bien no son el mismo circuito, ambos pertenecen a la subestación YONDO y su zona de influencia es cercana entre ambos, en el municipio de Yondó.

A continuación, en la Fig. 7 se hace una comparación de los circuitos que arrojó el resultado del estudio realizado por UE&AT, con el comportamiento de los cambios de medido, pero esta vez con el consolidado entre 2014 y noviembre de 2019.

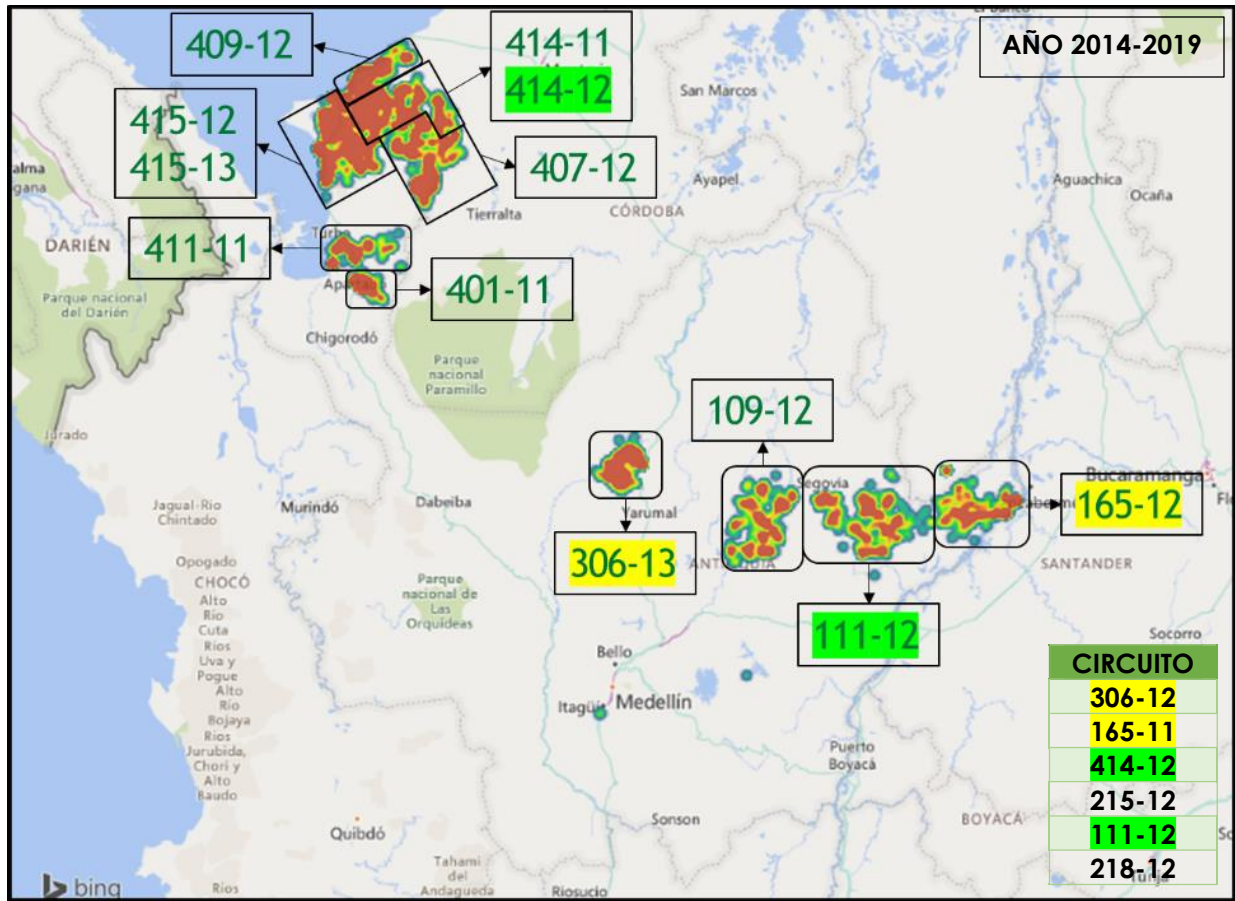


Fig. 7. Comparación entre los circuitos con más cambios de medidor entre 2014 y noviembre de 2019, y los 6 circuitos identificados por UE&AT con más clientes afectados por descargas atmosféricas.

De la Fig. 7, comparando los resultados de UE&AT, con el consolidado del comportamiento de cambios de medidor entre 2014 y noviembre de 2019, se puede observar que se conserva la coincidencia de los circuitos 111-12 de la subestación OTU y 414-12 de la subestación LA TOYOSA, se mantiene la similitud entre los circuitos 165-11 y 165-12 de la subestación YONDO, y aparece una nueva similitud entre los circuitos 306-12 y 306-13 de la subestación VALDIVIA.

## 6.2.2 Cruce de la información obtenida con factores que pueden afectar la electrónica de los medidores

### 6.2.2.1 Nivel cerámico en Colombia

Según la NTC 4552-1 Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (rayos). Parte 1: Principios Generales, en el ANEXO A se ilustran (entre otras definiciones) el nivel cerámico (NC) de Colombia.

**Nivel Cerámico (NC):** El número de descargas atmosféricas varía en cada sitio y no se han determinado maneras exactas de calcularlas, la información debe ser obtenida con base en datos históricos. El indicativo más simple de la actividad

atmosférica de una región es el nivel ceraunico, el cual está definido como el número de días al año en los cuales se escucha al menos un trueno.

### Variación espacial del nivel ceráunico en Colombia:

El NC fue evaluado en áreas de 30 km<sup>2</sup> x 30 km<sup>2</sup>, encontrándose zonas con valores entre 11 días y 289 días tormentosos año. La Fig. 8, muestra la variación de estos valores en la geografía colombiana para el año 1999 [4].

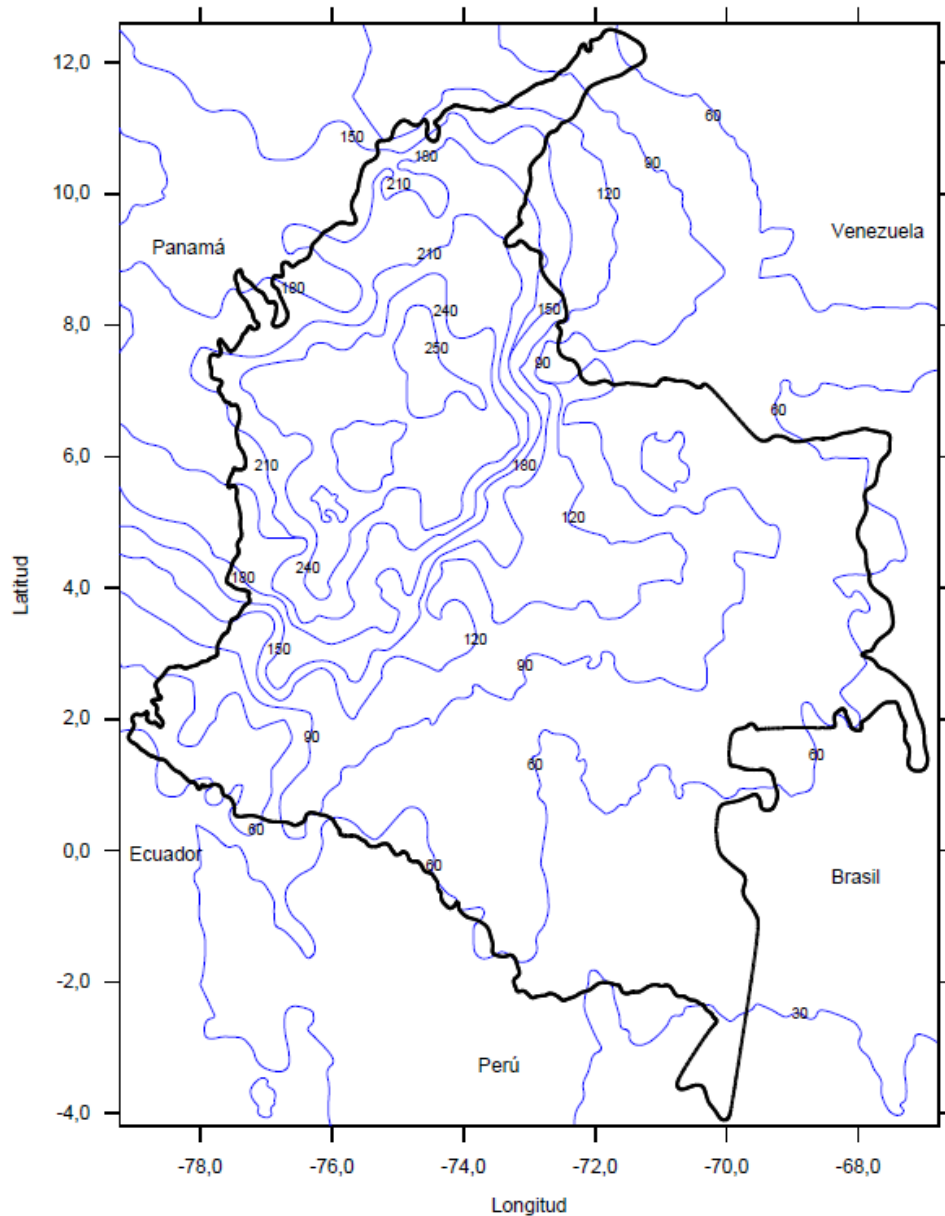


Fig. 8. Mapa de ISO-Niveles ceraunicos para Colombia (Área de 30 km<sup>2</sup> x30 km<sup>2</sup>) – 1999. Tomado de [4].

De la Fig. 8, a simple vista se podría inferir que la región con mayor nivel ceráunico pertenece a Antioquia con valores de 240 a 250 días tormentosos año.

Sin embargo, para tener una visión más clara del comportamiento del nivel cerámico en Antioquia y observar cómo podría estar correlacionado con el comportamiento de cambios de medidor, se realizó un cruce de mapas entre el mapa de calor de cambios de medidor entre 2014 y noviembre 2019 y el mapa del nivel cerámico en Colombia.

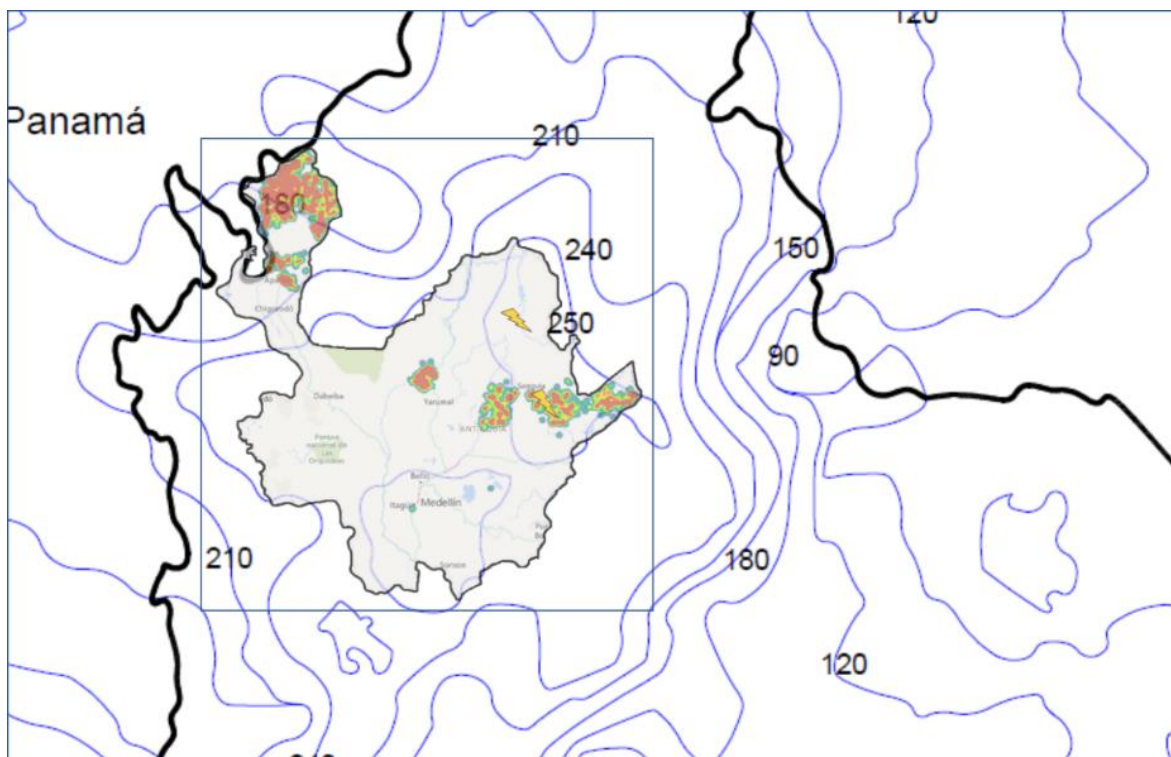


Fig. 9. Comparación entre nivel cerámico y cambios de medidor en Antioquia.

En la Fig. 9, se puede apreciar que hay 3 circuitos de la subregión Nordeste que son los 109-12 de la subestación Amalfi, 111-12 de la subestación Otu y 165-12 de la subestación Yondó, los cuales tienen influencia en los municipios de Amalfi, Yolombó, Remedios, Vegachí y Yondó, que están ubicados en las zonas de mayor nivel cerámico en Colombia, con un valor de 250 días tormentosos año. Luego está el circuito 306-13 de la subregión Norte Regional perteneciente a la subestación Valdivia, con influencia en los municipios de Briceño, Valdivia y Yarumal, el cual está en una zona con nivel cerámico de 240 días tormentosos año. Finalmente, los circuitos de la subregión Urabá, con influencia en los municipios de San Pedro de Urabá, Arboletes, Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá, Apartadó Y Carepa, esta ubicados en una zona con un nivel cerámico de 180 días tormentosos año. De lo anterior se puede inferir que hay una alta correlación entre el nivel cerámico y el cambio de medidores de la subregión Nordeste, ya que esta zona es de las que más cambios de medidor presenta y coincide con la zona de mayor nivel cerámico en Colombia.

### 6.2.2.2 Niveles de salinidad en las regiones de Colombia

La salinidad del suelo se refiere a la presencia o cantidad de sales minerales en el suelo o en la solución del suelo, y la salinización es el proceso de aumento, ganancia o acumulación de sales en el perfil del suelo y se origina de forma natural y/o antrópica [5].

El IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) cuenta con un mapa de calor en el cual se identifican las zonas con mayor nivel de salinidad en el país. El objetivo de consultar este mapa es revisar que tan correlacionado puede estar el tema de la salinidad con el cambio de medidores, ya que la salinidad puede ser un factor que afecta directamente a los medidores de energía.

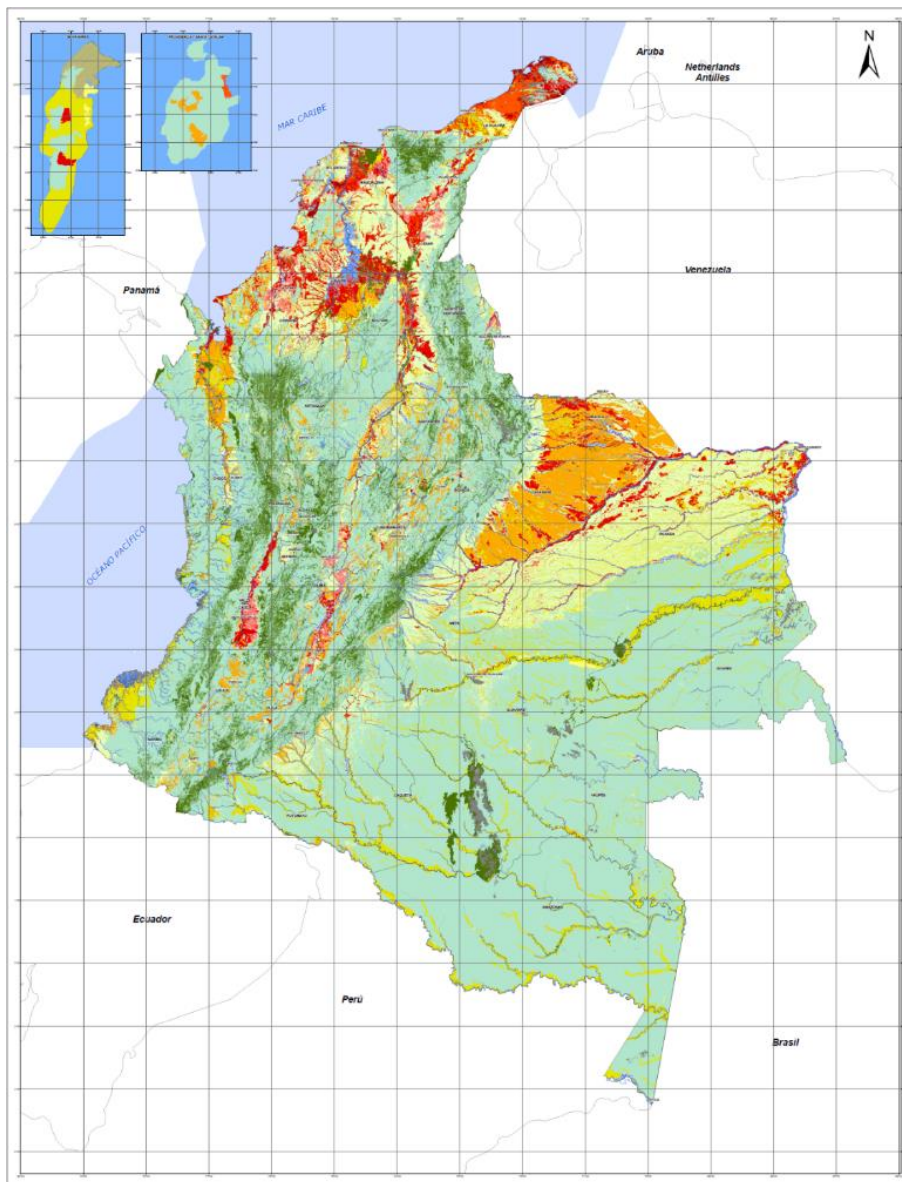


Fig. 10. Niveles de salinidad en Colombia. Tomado de [6].



En la Fig. 10 se muestra el mapa de calor con los niveles de salinidad en Colombia, donde la escala de color se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 10: escala de color para el nivel de salinidad en Colombia de la Fig. 10. Adoptada de [6].

Muy Alta
Alta
Media
Baja
No Susceptible

De la Fig. 10 se puede observar que los mayores índices de salinidad en Colombia se presentan en la región Caribe, parte de la Orinoquia, una leve parte en la región del pacífico, específicamente en el Cauca, y otra mínima parte en la región Andina, más precisamente en la región del Urabá Antioqueño. Es en esta última parte donde se centran las miradas, ya que está en una zona de interés para este estudio.

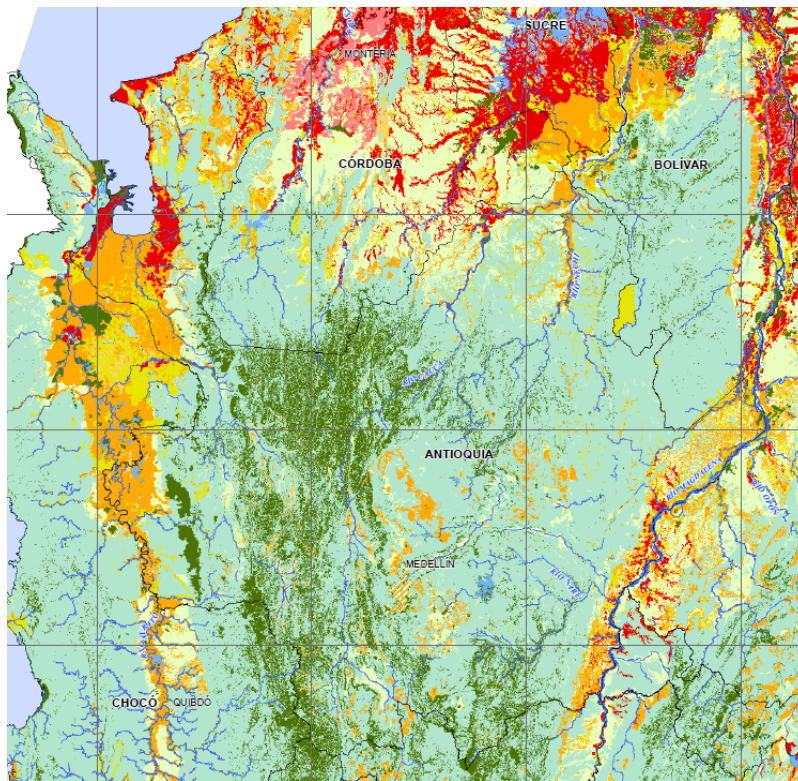


Fig. 11. Niveles de salinidad en Antioquia. Tomada de [6].

En la Fig. 11 se observa que, a nivel de Antioquia, los niveles de salinidad se encuentran más concentrados en la región del Urabá, y una pequeña parte en las regiones cercanas al río Magdalena.

Para observar que tan correlacionado puede estar el nivel de salinidad con el cambio de medidores, se hace un cruce de mapas entre ambos fenómenos tal como se muestra en la Fig. 12.

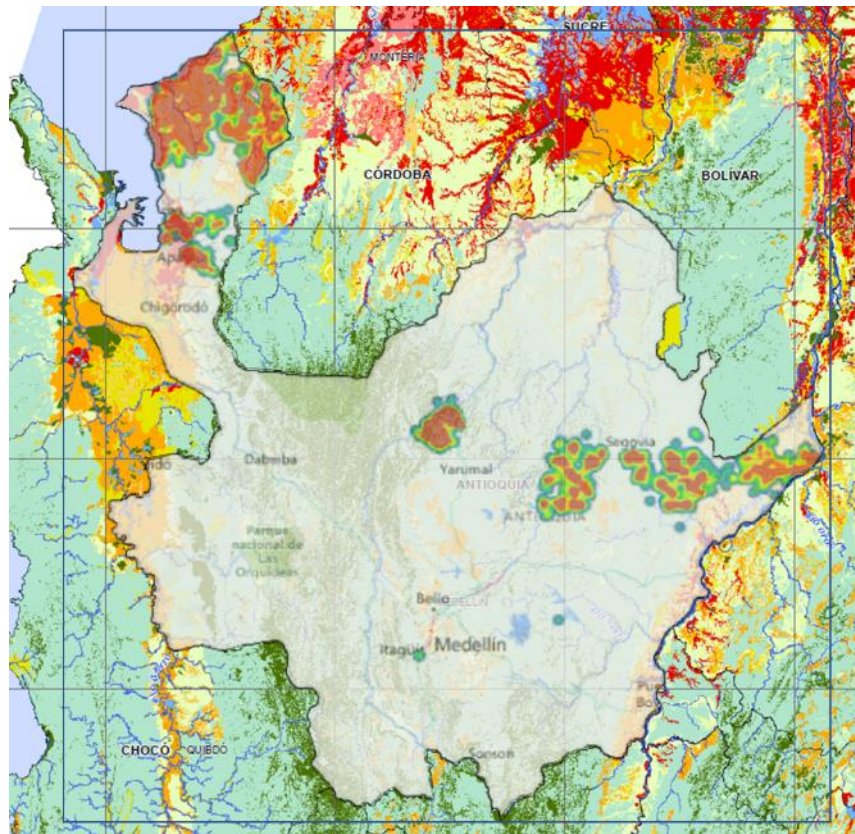


Fig. 12. Nivel de salinidad del suelo en Antioquia vs Cambios de medidores en Antioquia. Adaptada de [6].

En la Fig. 12 se puede observar que la zona de influencia de la salinidad en Urabá coincide con las zonas de influencia donde más medidores se han cambiado en los últimos 5 años. Con el objetivo de observar más en detalle, se hace un zoom a esta subregión antioqueña.

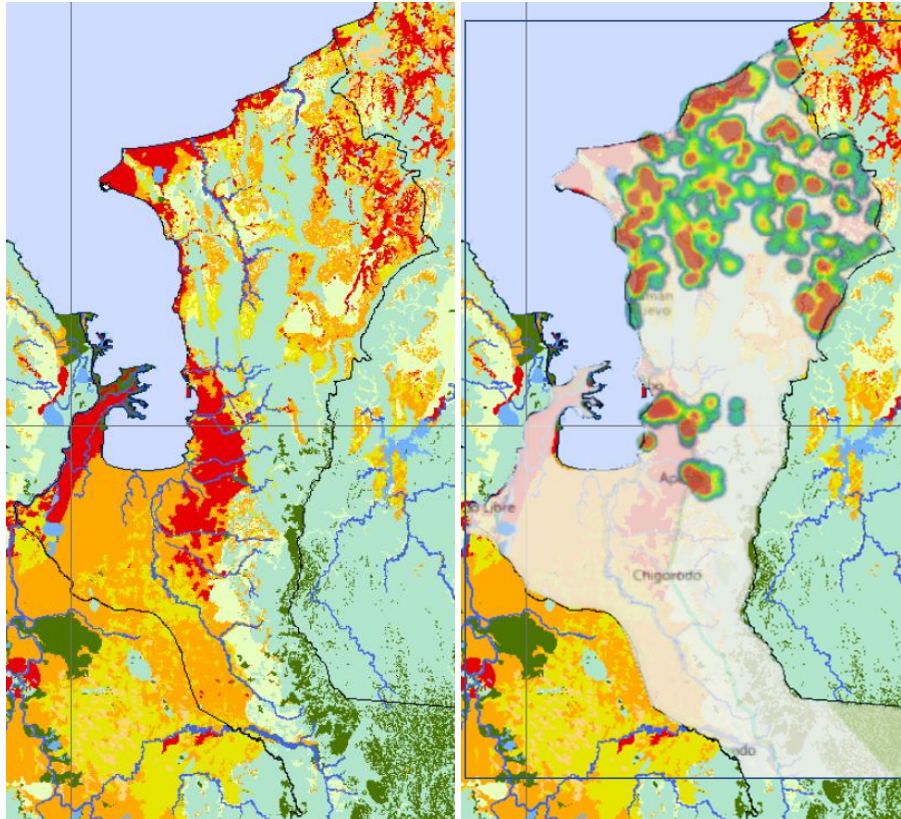


Fig. 13. Salinidad del Urabá vs cambios de medidores en el Urabá. Adaptada de [6].

De la Fig. 13 se puede observar que hay una correlación entre las zonas de donde hay salinidad y las zonas donde se presenta el cambio de medidores. Esto puede tener mucha coherencia ya que la salinidad puede generar corrosión y afectar los dispositivos electrónicos, más si estos están ubicados de manera expuesta al medio ambiente, como es el caso de los medidores de energía, que se ubican en fachadas y postes.

Tratando de tener panorama más claro de lo que sucede en la zona, se contactó al ingeniero encargado de la misma, para consultarle lo que ha pasado en la zona a través del tiempo que él se ha mantenido allí y esta fue la información brindada:

*“Entre los años 2016, 2017 y 2018, se atendió un rezago que había respecto al cambio de medidores, por eso se observa que, en ese periodo de tiempo, la zona de Urabá presenta una fuerte influencia en el cambio de medidores. Sin embargo, la subregión de Urabá siempre es una de las que más medidores cambia durante cada año”.*

*“Aproximadamente en los años 2009-2010, comenzó el proyecto Antioquia Iluminada, con el cual se buscaba llevar energía eléctrica a las zonas rurales que*

anteriormente pertenecían a EADE" (Empresa Antioqueña De Energía), la cual fue liquidada en 2007 [7], y "todos sus clientes pasaron a ser parte de EPM. Urabá fue una de las zonas donde EPM tuvo más intervención durante la ejecución del proyecto. Posiblemente en ese momento, a pesar de que ya estaba en vigencia el RETIE, no se realizaron buenas prácticas de ingeniería, lo que influyó en el cambio de medidores a futuro".

"A la fecha de hoy (28/10/2019) y desde hace aproximadamente dos meses, se han encontrado 4 casos de medidores que están "explotados"", (medidores cuyas cubiertas plásticas que están selladas herméticamente desde la fábrica, han fallado en el sellado y se han abierto levemente), "pero funcionalmente están bien, es decir que registran la energía de manera correcta, los sellos de calibración están intactos, no se presentan signos de manipulación. La temperatura promedio del Urabá Antioqueño es de 28 °C y la humedad relativa promedio está entre el 80 % y 90 %, por lo cual se tiene la hipótesis que estos casos de medidores "explotados" se han presentado debido al factor climatológico. Antes no se había presentado este fenómeno, ya que los medidores no eran sellados herméticamente, la sujeción de las cubiertas que confinaban la tarjeta electrónica del medidor era por medio de tornillería".

"Se han encontrado muchos casos de medidores con el display apagado, lo cual genera que se deba efectuar el cambio de medidor". Es de resaltar que la tecnología que se utiliza para la fabricación del display, en su gran mayoría es de tipo LCD (Liquid Crystal Display o Pantalla de Cristal Líquido), tipo de tecnología que se ve afectada por la incidencia directa de los rayos del sol, tal como se manifiesta en [8]. "La región del Urabá tiene alta incidencia de la radiación solar, además que hay medidores que se encuentran ubicados en postes, por lo que la probabilidad de recibir rayos directos del sol es muy alta. Los medidores retirados con la característica de display apagado no han sido revisados por el laboratorio para realizar un análisis forense y determinar si en efecto el medidor solo tiene el display quemado, pero el resto de las componentes están en buen estado y registrando la energía de manera correcta. De igual forma queda la duda si el fallo del medidor también se pudo dar debido a corrosión interna por la salinidad en la zona".

Particularidad: "en cierto momento se realizó un cambio masivo de medidores en el circuito 410-11, días después cayo una fuerte tormenta que afecto aproximadamente a 95 medidores, lo que ocasionó la quema de los mismos".

### 6.3 Resultados obtenidos de información relacionada buscando en bases de datos bibliográficas

A partir de la vigilancia estratégica realizada con el apoyo de la biblioteca epm, se listan dos artículos de interés los cuales tocan temas relacionados con la falla en medidores de energía. El primer artículo fue realizado por la Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC) en 2014, y el segundo artículo fue realizado por investigadores de origen chino, en su país de origen en el año 2017. A continuación, se presenta un resumen de los artículos.

#### 6.3.1 Falla en los medidores de distribución rural en Colombia [9]

En 2014, la Universidad Nacional de Colombia publicó un artículo en el que realizó un estudio para encontrar la causa raíz de falla en los medidores de energía en caldas [9], donde el operador de red es CHEC (Central Hidroeléctrica de Caldas) que pertenece al grupo epm.

En este estudio, se realizó un análisis forense a 190 medidores fallados, de los cuales 150 eran electromecánicos y 40 eran electrónicos.

En la Fig. 14, se muestran los resultados del análisis forense a los medidores electromecánicos. Se observó que el 1% de las fallas fueron causadas por humedad, 6 % fueron por golpes, 14 % fueron fallas en las bobinas de corriente y el 79 % restante fueron fallas en las bobinas de voltaje.

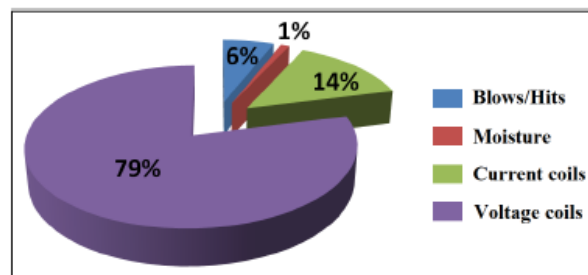


Fig. 14. tipos de falla en medidores electromecánicos. Tomado de [9].

En la Fig. 15, se muestran los resultados del análisis forense a los medidores electrónicos. Se observó que el 13 % de las fallas fueron causadas por golpes, 20 % fueron fallas en las bobinas de corriente y el 68 % restante fueron fallas en las bobinas de voltaje.

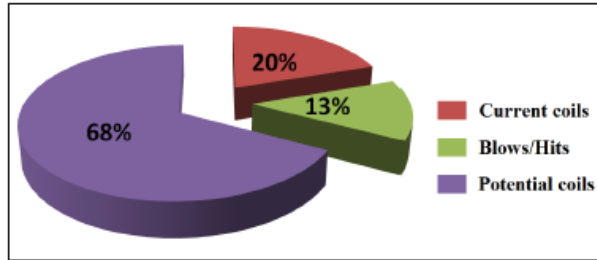


Fig. 15. Tipos de falla en medidores electrónicos. Tomado de [9].

Estos resultados confirman la hipótesis inicial, en la que se dice que los medidores fallan principalmente por descargas atmosféricas.

Se realizó una visita a la zona más crítica, en donde se presentaba el mayor número de fallas (626 en total) y los hallazgos fueron los siguientes:

- Incumplimiento del grado de protección IP:



Fig. 16. hallazgo de incumplimiento en el grado de protección IP. Tomado de [9].

- Malas prácticas de instalación:



Fig. 17. Malas prácticas de instalación. Tomado de [9].

- Sistemas de puesta a tierra deficientes en las instalaciones de los usuarios y en los nodos del operador de red:



Fig. 18. Sistemas de puesta a tierra deficientes. Tomado de [9].

De acuerdo con los hallazgos vistos en terreno, se propone un plan de soluciones técnicas que, pretende disminuir el número de medidores fallados:

### **Acciones correctivas externas al medidor:**

- Mejoramiento del sistema de puesta a tierra en el nodo del transformador:

Un sistema de puesta a tierra con baja resistencia evitará que la sobretensión alcance la red de baja tensión. Sobre la base de los resultados de una simulación realizada por CHEC, propone que el sistema de puesta a tierra deba reforzarse con 5 refuerzos o contrapesos adicionales, tal como se muestra en la Fig. 19. Este tipo de rejilla puede alcanzar los valores de resistencia requeridos por la norma ( $10\Omega$ ) para la resistividad promedio del suelo de esta zona  $250\Omega/m$ , y así de esta manera no se tendrá que realizar ningún tratamiento adicional al terreno.

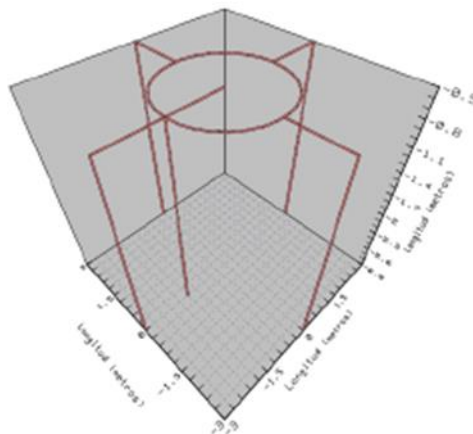


Fig. 19. Configuración de SPT propuesto para disminuir el número de medidores fallados. Tomado de [9].

En la norma técnica RA6-010 de EPM, donde establecen requisitos y criterios para la adecuación, instalación y equipotencialización de la puesta a tierra, se ilustran configuraciones de máximo 4 contrapesos, aunque con longitudes de contrapesos de hasta 10 metros.

- Dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS):

El esquema de protección debe considerar la coordinación adecuada de la DPS para lograr un rendimiento óptimo del sistema y, por lo tanto, contar con una mayor confiabilidad del equipo.

El primer nivel de protección debe ubicarse en los bujes secundarios del transformador para limitar el flujo de corriente en el devanado secundario y proteger el transformador de una sobretensión en el lado de baja tensión. Según las aplicaciones implementadas en la industria, un DPS con un nivel de protección de 2.16 kV y un voltaje de funcionamiento continuo de 480 V tiene una mejor coordinación con el DPS primario del transformador. Debe considerarse la coordinación alta-baja con DPS de 480 V en los bujes secundarios del transformador y DPS de 175 V en la acometida del cliente. La disipación de energía tiende a aumentar en el DPS de la acometida del cliente y a disminuir en la DPS de los bujes secundarios cuando se reduce la distancia entre los dos dispositivos. Esto se debe a que la inductancia de la línea no proporciona suficiente caída de voltaje ( $L di/dt$ ). Por lo tanto, el DPS de la acometida del cliente se convierte en el primero en comenzar a disipar energía y limitar la caída de voltaje en el DPS de los bujes secundarios, reduciendo así la energía disipada. Este análisis es válido siempre que las sobretensiones sean de alta pendiente. Las pendientes altas son un parámetro característico del rayo, que presenta pendientes más pronunciadas en movimientos posteriores, ya que el canal de descarga ya está formado.

- Mejoramiento del sistema de puesta a tierra de las instalaciones:

El sistema de conexión a tierra debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos por las regulaciones [10], es decir, un electrodo de 2,40 m y el uso de soldadura exotérmica entre la conexión del conductor descendente y el electrodo.

#### **Acciones correctivas internas al medidor:**

- Caja hermética:

Los medidores y las cajas de medidores deben tener un grado de protección mayor o igual IP54.

- Escudo electromagnético:

Los medidores electrónicos deben estar equipados con pantallas electromagnéticas sólidamente conectadas a tierra.

- Nivel de aislamiento:



Los medidores electromecánicos y electrónicos deben contar con un nivel básico de aislamiento de 6 kV.

### **6.3.2 Investigación sobre mecanismos de falla de medidores domésticos inteligentes de energía eléctrica [8]**

En 2017, varios investigadores de origen chino realizaron un estudio de fallas en medidores de energía para descubrir el tipo de falla más probable, las estadísticas se realizaron en un total de 3.247.210 medidores que presentaban fallas de 27 provincias de china. El análisis mostró que la calidad del equipo y los factores externos fueron las principales fallas, representando más del 70% de los casos.

Mediante el diagnóstico de medidores defectuosos en diferentes circunstancias (incluida la condición climática y la carga de la red eléctrica), se realizaron análisis de mecanismos de falla a la luz de los modos de falla típicos en medidores de energía eléctrica. Se realizaron experimentos en los componentes dañados para su repetición y validación, y se realizó un análisis del mecanismo de falla para descubrir medidas preventivas y presentar sugerencias de mejora.

- Medidor de energía eléctrica con carcasa quemada:

Varios accidentes con medidores de energía eléctrica han ocurrido continuamente en una planta de extracción de petróleo. Se descubrió que las resistencias internas de limitación de corriente utilizadas para la protección en los medidores se quemaron causando la falla.

- Caso de medición fuera de tolerancia

Hubo medidores de energía eléctrica de clase 0.5S en el inventario de un usuario en Fujian durante más de 2 años, cuyo error estuvo dentro de 0.4 ~ 0.7, con una precisión relativamente peor que la encontrada en los informes de fábrica. El análisis de los resultados mostró que la desviación de la resistencia de muestreo (SMD 0805 encapsulando una resistencia de película gruesa) causó un valor de corriente medido incorrectamente.

- Falla en el display

Las fallas que se presentan en la pantalla son principalmente por el cristal líquido y el envejecimiento de la luz de fondo, como el color amarillento de la pantalla, pérdida de contraste, etc. Los datos de falla de campo demuestran que, en áreas con alta intensidad y duración de exposición al sol, como Xinjiang, es más fácil para pantallas de cristal líquido tener una falla, envejecimiento de la luz de fondo, amarillamiento, etc.

Lo anterior reafirma más la hipótesis que se tiene con la cantidad de medidores fallados en la subregión Urabá, los cuales presentan señales similares mencionadas en 6.2.2.2.

- Fallas de comunicación

Las fallas de comunicación ocurrieron en Linyi, provincia de Shandong; a través de la reparación, se descubrió que varios componentes del medidor, específicamente algunos de comunicación presentaban daños en diferentes grados. Dado que los rayos ocurren con frecuencia en ese lugar en el verano, se especula que los rayos causaron daños debido a la protección inapropiada en las líneas de transmisión.

- Falla en reloj/batería

Una falla del reloj es a menudo el error acumulativo del error del día, que generalmente es causado por una falla del circuito de compensación de temperatura en el chip del reloj interno. También puede estar relacionado con la interferencia recibida por los datos internos del chip de reloj. Para algunos chips de reloj equipados con el oscilador de cristal externo, el error de frecuencia del oscilador de cristal también puede afectar la precisión del reloj; El diseño irrazonable del circuito de suministro para el chip de reloj también puede causar tal falla.

Un fallo de la batería a menudo es causado por daños en el circuito de protección de la batería, lo que resulta en una fuga de la batería, es decir, se descarga. Además, el cableado irrazonable de la placa impresa aumentará la fuga de corriente en un ambiente húmedo y el defecto de diseño también aumentará la fuga de corriente cuando se encuentre en un estado de bajo consumo de energía para la máquina completa.

- Mecanismo de falla de componentes clave

Combinando los registros de mantenimiento con el diagnóstico de fallas, encontraron que las fallas se concentran en la resistencia de muestreo (componente interno del medidor electrónico), el capacitor, el acoplamiento óptico, la pantalla LCD y la batería, etc. Las fallas en los componentes o el diseño no consideran completamente las acciones del estrés externo (ambiente climático, carga de red).

Al repetir el experimento en el laboratorio con causas de fallas que imitan la temperatura, la humedad, la niebla salina, la carga del sitio, etc., descubrieron que los tipos de estrés comunes que causan fallas de los componentes incluyen: mecánica, térmica, humedad, electricidad, contaminación y corrosión.

Las fallas mecánicas, como la rotura de placas en el proceso de producción, pueden causar fácilmente fracturas por capacitancia y grietas de resistencia. Generalmente se refiere a cambios irreversibles en la estructura de los componentes debido a la deformación elástica y la deformación plástica, pandeo, ruptura frágil, fractura por deformación, inicio y propagación de la fractura por fatiga.

La falla térmica se encuentra en el noreste de China, Xinjiang y otros lugares donde la diferencia de temperatura anual puede alcanzar más de 50°C. Por ejemplo, el aumento de la temperatura del condensador electrolítico hace que la concentración de electrolitos disminuya, causa una mala permeabilidad y la pérdida de la capacidad electroquímica para proporcionar una película de óxido reparadora, afecta la capacitancia y conduce al fallo de la capacitancia. Cuanto mayor es la temperatura o mayor es la diferencia de temperatura, más rápido es el envejecimiento a través de reacciones físicas y químicas en los componentes.

La falla debido a la humedad puede ocurrir debido al no cumplimiento del grado de protección IP. La humedad acelerará la corrosión metálica de los componentes, cambiará las propiedades eléctricas de los dieléctricos, acelerará la descomposición térmica de los materiales y causará la estratificación del material componente.

Las fallas por estrés eléctrico se refieren a fallas causadas por descargas atmosféricas, descargas electrostáticas, ruptura dieléctrica, ruptura de nodos, etc. Por ejemplo, en caso de sobrevoltaje, la tolerancia de componentes no es suficiente, lo que hace que sea fácil causar quemaduras en el medidor por explosiones sensibles a la presión y aumento de fugas de corriente. La sobrecarga puede dañar fácilmente los componentes (por ejemplo, transformadores, resistencias de muestreo y chips de medición). El estrés eléctrico también puede causar fácilmente un aumento local instantáneo de la temperatura. El efecto de envejecimiento es más significativo que el envejecimiento a alta temperatura.

La falla de contaminación se refiere a contaminantes que transportan iones conductores que causan un canal conductor adicional. La falla por corrosión se refiere a la contaminación que transporta los iones corrosivos que conducen a la corrosión. Por ejemplo, en ciudades costeras como Fujian y Zhejiang con características climáticas de alta temperatura, alta humedad y niebla salina, los componentes fallarán más fácilmente debido a la corrosión y las reacciones electroquímicas: en primer lugar, los tornillos terminales de los medidores de energía eléctrica pueden oxidarse fácilmente en tales regiones y los cables

externos y las cubiertas de los componentes pueden corroerse directamente; en segundo lugar, la humedad puede penetrar el PCB, la pintura anticorrosiva y la cubierta interna de los componentes, y causar una grieta profunda en el componente, corroyendo la capa de óxido de aluminio y metal en la superficie del chip. Por ejemplo, en un paquete de plástico doméstico con circuito integrado que se almacenó en la provincia de Hainan en clima subtropical, con un contenido de Cl tan alto como  $0.43\mu\text{g} / 100\text{cm}^3$ , el 41.16% de las muestras tuvieron fallas, casi todas relacionadas con la corrosión del circuito abierto. La velocidad de corrosión se relaciona con las temperaturas ambientales, la humedad y la niebla salina. Cuanto mayor sea la humedad relativa, más gruesa será la capa de moléculas de agua absorbidas en el PCB o la superficie del componente; cuanto más pesada es la composición de niebla salina o lluvia ácida en la atmósfera, mayor es la concentración de iones extraños, es decir, electrolitos en la capa de moléculas de agua y más rápida es la corrosión.

El estrés ambiental (clima, carga) es la causa principal de falla en los medidores de energía y también es la entrada inicial en la repetición de experimentos de falla en el laboratorio. Puede hacer un buen uso de la sensibilidad al estrés ambiental en los medidores de energía y sus condiciones de creación aumentando o disminuyendo el estrés de diferentes tipos y escalas, controlando efectivamente las diferentes variables de estrés y proporcionando un atajo para la investigación experimental y el análisis de fallas en los medidores de energía. Mediante la repetición de los fenómenos de falla típicos y el análisis del mecanismo de falla de los componentes, es posible acumular una gran cantidad de conocimiento y experiencia en mejoras de confiabilidad para medidores de energía.

## 7 Conclusiones

Se pudo observar que los cambios de medidores “quemados”, “malos”, “dañados” o “apagados”, predominan en un alto porcentaje en las zonas rurales, respecto a las zonas urbanas. Lo que da pie para comenzar a realizar una revisión de las instalaciones ubicadas en zonas rurales, verificando que las normas técnicas exigidas por EPM si se están aplicadas adecuadamente, con buenas prácticas de la ingeniería.

Con la comparación de los circuitos obtenidos por UE&AT y el estudio de cambio de medidores, se puede inferir que hay una correlación entre las descargas atmosféricas y el cambio de medidores de energía. Además, se pudo apreciar que hay 4 circuitos con más cambios de medidores entre 2014 y noviembre de 2019, que están ubicados en zonas donde está el mayor nivel ceraunico en Colombia. Con esto se puede plantear la implementación de DPS en las redes de distribución de los circuitos que presentan el fenómeno.

La zona del Urabá antioqueño presenta niveles considerables de salinidad. Estas zonas de salinidad tienen coincidencia con zonas de influencia de los circuitos que más cambios de medidor presentaron entre 2014 y noviembre de 2019. No se puede asegurar que sea la salinidad la principal causa de afectación en medidores en esta subregión de Antioquia, pero puede ser uno de los factores que genera influencia, ya que como se mencionó en [8], un ambiente salino puede proporcionar corrosión en el PCB del medidor.

Actualmente, el laboratorio de EPM no realiza un análisis forense exhaustivo a cada medidor de energía retirado por falla, para determinar la causa raíz del fallo. Esto se debe a la carga laboral que se tiene constantemente en el laboratorio con el ingreso de medidores nuevos a la base de datos de EPM, calibración y configuración de medidores, calibración y configuración de TC's, calibración y configuración de TP's, revisión de medidores retirados de instalaciones por posible manipulación con el objetivo de cometer fraude, etc. Dado que para revisar cada medidor retirado requeriría mayor recurso humano del que se tiene al día de hoy, se puede contemplar la posibilidad de tomar muestras de los circuitos donde se presenta en mayor medida el cambio de medidores y ejecutar un análisis forense, tal como se realizó en [9], y así llevar una estadística más detallada.

## 8 Referencias Bibliográficas

- [1] EPM, "Historia - EPM." [Online]. Available: <https://www.epm.com.co/site/home/institucional/historia>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [2] CREG - Comisión De Regulación De Energía y Gas, *RESOLUCIÓN No. 038 DE 2014 - CODIGO DE MEDIDA*, no. 038. Colombia, 2014, p. 65.
- [3] A. G. Zuluaga Marín, "Mejoras en los índices de calidad en redes de distribución – Entregable No. 1 Metodología para selección infraestructura crítica por descargas atmosféricas," Medellín, 2018.
- [4] ICONTEC NTC4552-1, "Norma Técnica Colombiana Ntc4552-1: Protección Contra Descargas Eléctricas Atmosféricas (Rayos). Parte 1: Principios Generales," *Ntc*, no. 571, pp. 1–79, 2008.
- [5] IDEAM, "MAPA NACIONAL DE DEGRADACIÓN DE SUELOS POR SALINIZACIÓN - 2017," 2017. [Online]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/24277/69989379/Lanzamiento+mapa+Salinizacion+FN+OPT.pdf/624515d0-799d-41ef-b1ef-bb7e868680f3>. [Accessed: 04-Nov-2019].
- [6] SIAC (Sistema de Información Ambiental de Colombia), "Salinización En Colombia." [Online]. Available: [http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/suelo/SUSCEPTIBILIDAD\\_SALINIZACION\\_EN\\_COLOMBIA.pdf](http://capacitacion.siac.ideam.gov.co/SIAC/suelo/SUSCEPTIBILIDAD_SALINIZACION_EN_COLOMBIA.pdf). [Accessed: 04-Nov-2019].
- [7] EPM, "Cinco años de la integración de EADE y EPM," 2012. [Online]. Available: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/boletines-estamos-ahi/cinco-anos-de-la-integracion-de-eade-y-epm>. [Accessed: 06-Nov-2019].
- [8] Y. Xue, P. Zhang, X. Du, C. Peng, Y. Zou, and J. Zhang, "Research on failure mechanisms of domestic intelligent electric energy meters," *Proc. 2016 11th Int. Conf. Reliab. Maintainab. Saf. Integr. Big Data, Improv. Reliab. Serv. Pers. ICRMS 2016*, pp. 1–9, 2017.
- [9] O. J. S. Marin, E. A. C. Plata, A. J. U. Farfan, and C. Younes, "Rural distribution meter failures in Colombia," *2014 IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet. IAS 2014*, pp. 1–6, 2014.
- [10] I. C. de N. técnicas y C. ICONTEC, "Codigo Electrico Colombiano," p. 1020, 1998.

9 Anexos  
2014:

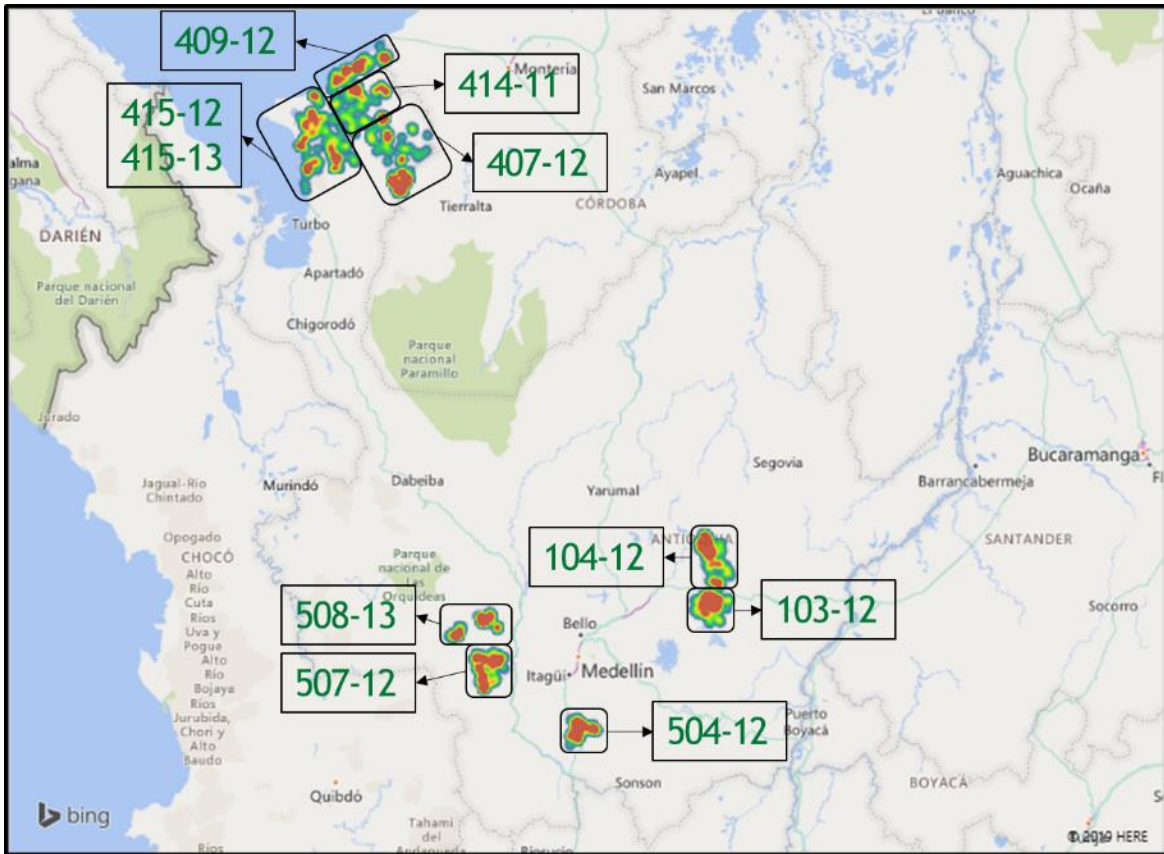


Fig. 20. Mapa de calor con los 10 circuitos con más cambios de medidores en 2014 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 11: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", en 2014.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
508-13	Urrao	Caicedo	74	136
		Urrao	62	
407-12	San Pedro De Urabá	San Pedro De Urabá	98	134
		Arboletes	16	
		Fuera De Antioquia	10	
		Turbo	8	
		Necoclí	2	
103-12	San Roque	San Roque	113	117
		Santo Domingo	3	
		Yolombó	1	
415-12	Necoclí	Necoclí	88	102
		Turbo	14	
409-12	Arboletes	San Juan De Urabá	66	98
		Arboletes	21	
		Necoclí	11	
507-12	Betulia	Betulia	70	94
		Anzá	24	

414-11	La Toyosa	Arboletes	43	91
		San Juan De Urabá	25	
		Necoclí	23	
504-12	Santa Barbara	Santa Bárbara	53	88
		Montebello	34	
		Retiro	1	
104-12	Yolombó	Yolombó	81	84
		Amalfi	3	
415-13	Necoclí	Necoclí	83	83

2015:

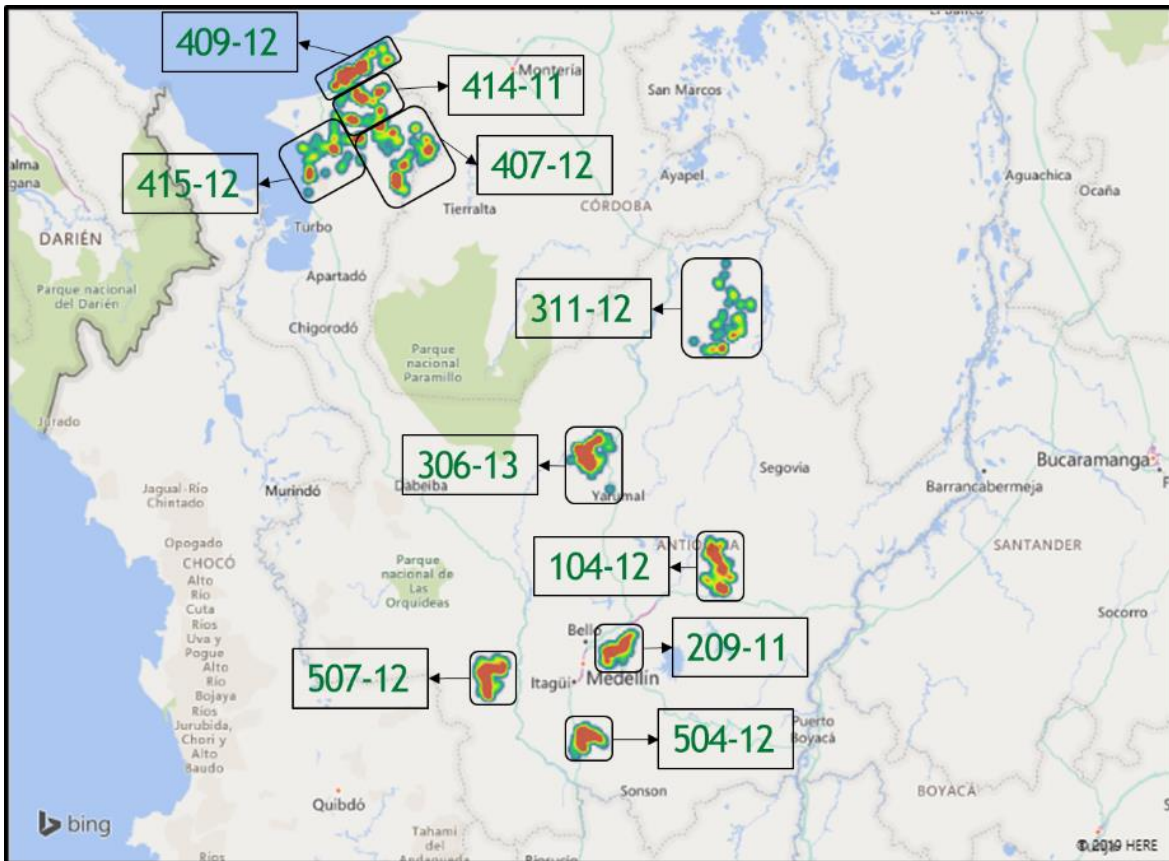


Fig. 21. Mapa de calor con los 10 circuitos con más cambios de medidores en 2015 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 12: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", en 2015.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
409-12	Arboletes	San Juan De Urabá	87	117
		Arboletes	20	
		Necoclí	10	
306-13	Valdivia	Briceño	101	103
		Valdivia	2	
407-12	San Juan De Urabá	San Pedro De Urabá	74	102
		Arboletes	25	



		Turbo	3	
415-12	Necoclí	Necoclí	86	92
		Turbo	6	
507-12	Betulia	Betulia	73	91
		Anzá	18	
414-11	La Toyosa	Arboletes	32	79
		San Juan De Urabá	25	
		Necoclí	22	
311-12	Cacerí (Bijagual)	Caucasia	46	77
		Zaragoza	22	
		Cáceres	6	
		Nechí	3	
209-11	Guarne	Guarne	56	72
		San Vicente Ferrer	15	
		Copacabana	1	
504-12	Santa Barbara	Montebello	36	71
		Santa Bárbara	34	
		Retiro	1	
104-12	Yolombó	Yolombó	69	69

2016:

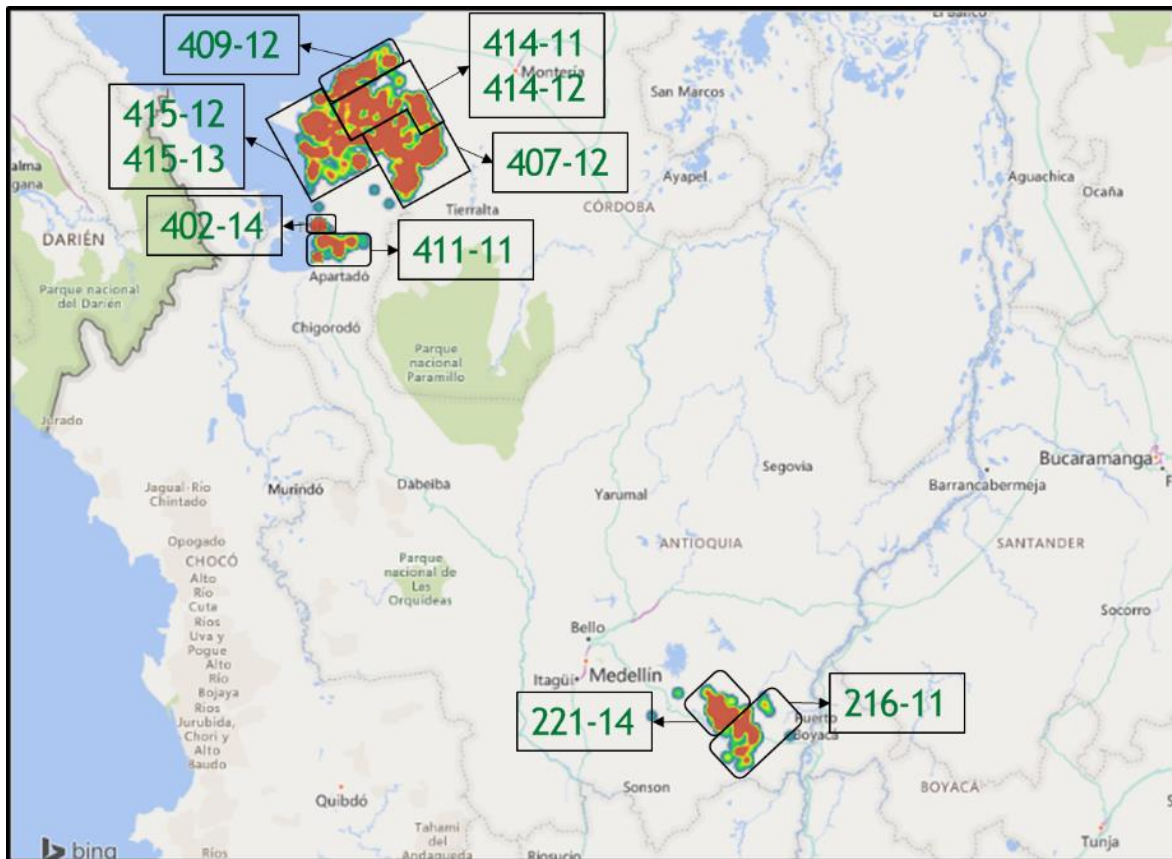


Fig. 22. Mapa de calor con los 10 circuitos con más cambios de medidores en 2016 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 13: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", apagado", en 2016.

<b>NRO CTO</b>	<b>SUBESTACION</b>	<b>MUNICIPIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>TOTAL</b>
<b>407-12</b>	San Pedro De Urabá	San Pedro De Urabá	423	574
		Arboletes	122	
		Turbo	13	
		Necoclí	10	
		Fuera De Antioquia	6	
<b>409-12</b>	Arboletes	San Juan De Urabá	240	317
		Arboletes	40	
		Necoclí	37	
<b>415-12</b>	Necoclí	Necoclí	230	302
		Turbo	72	
<b>414-11</b>	La Toyosa	Arboletes	126	295
		San Juan De Urabá	100	
		Necoclí	69	
<b>411-11</b>	Urabá	Turbo	240	240
<b>414-12</b>	La Toyosa	Arboletes	113	189
		San Pedro De Urabá	72	
		Fuera De Antioquia	4	
<b>415-13</b>	Necoclí	Necoclí	181	181
<b>216-11</b>	La Florida	San Luis	102	163
		San Francisco	50	
		Sonsón	10	
		Puerto Nare	1	
<b>221-14</b>	San Carlos	San Luis	160	160
<b>402-14</b>	Turbo	Turbo	159	159

2017:

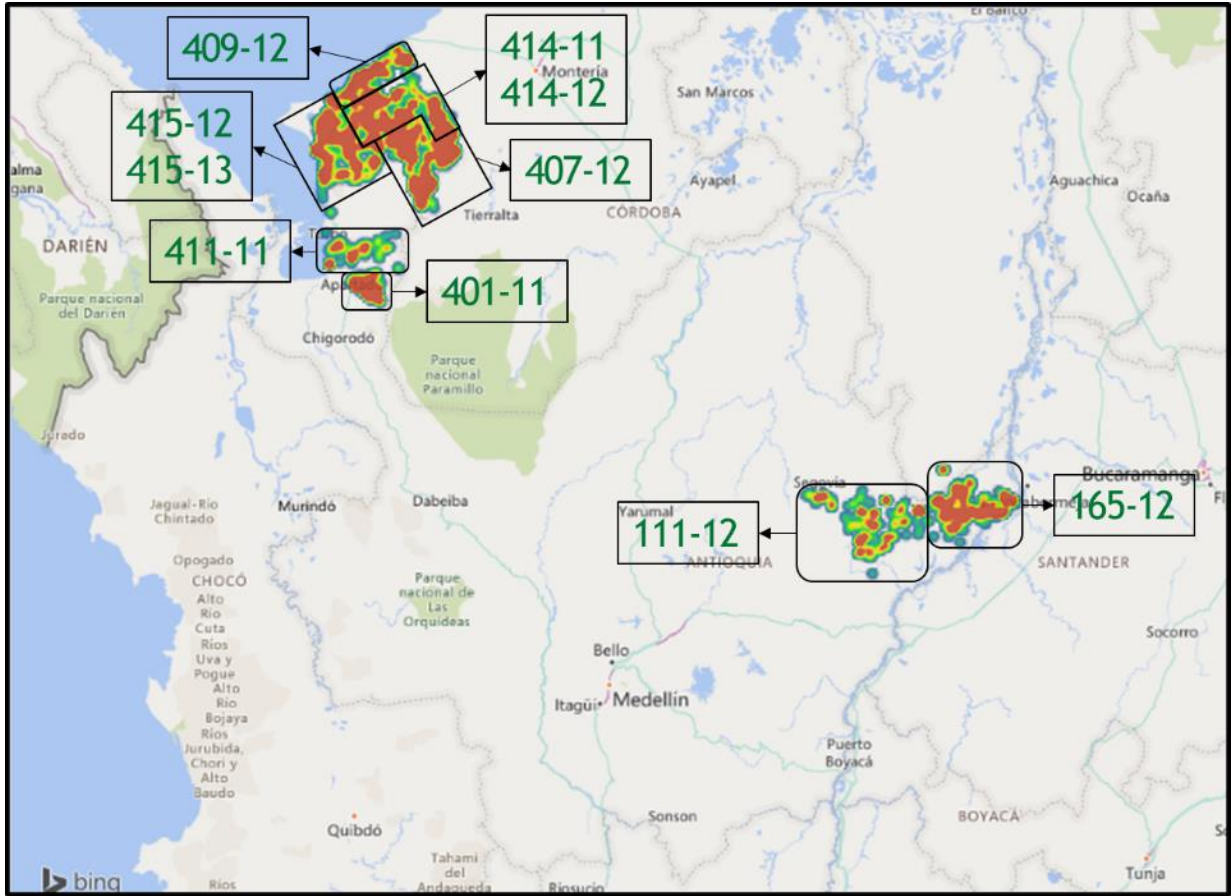


Fig. 23. Mapa de calor con los 10 circuitos con más cambios de medidores en 2017 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 14: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", en 2017.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
407-12	San De Pedro Urabá	San Pedro De Urabá	366	528
		Arboletes	133	
		Turbo	16	
		Fuera De Antioquia	11	
		Necoclí	2	
415-12	Necoclí	Necoclí	244	284
		Turbo	40	
401-11	Apartado	Apartadó	261	268
		Carepa	7	
165-12	Yondó	Yondó	239	255
		Remedios	15	
		Fuera De Antioquia	1	
414-11	La Toyosa	Arboletes	109	244
		Necoclí	88	
		San Juan De Urabá	47	
409-12	Arboletes	San Juan De Urabá	143	229
		Arboletes	48	

		Necoclí	38	
<b>415-13</b>	Necoclí	Necoclí	210	210
<b>414-12</b>	La Toyosa	San Pedro De Urabá	102	202
		Arboletes	98	
		Fuera De Antioquia	2	
<b>111-12</b>	Otu	Remedios	173	193
		Yondó	19	
		Vegachí	1	
<b>411-11</b>	Urabá	Turbo	170	179
		Apartadó	9	

2018:

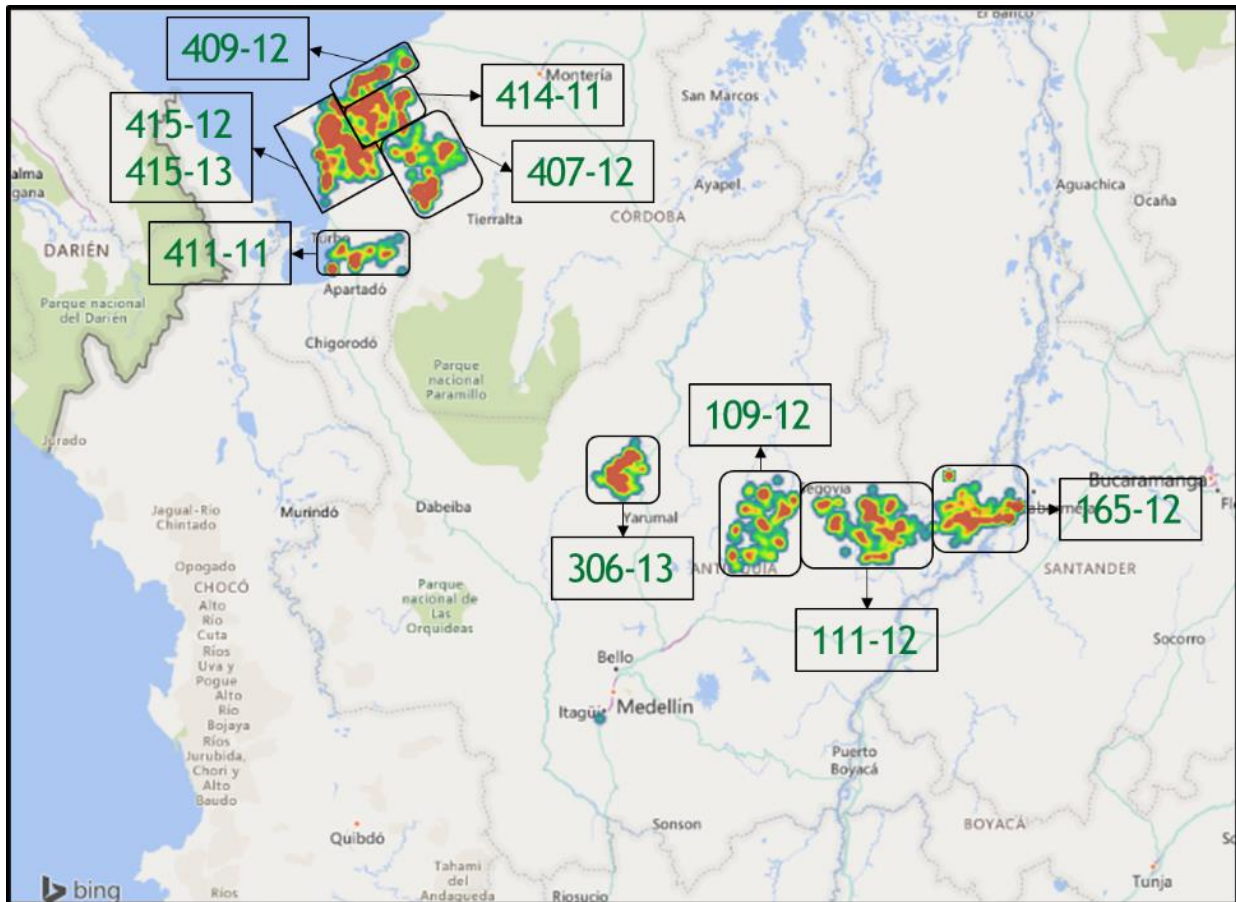


Fig. 24. Mapa de calor con los 10 circuitos con más cambios de medidores en 2018 ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 15: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", en 2018.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
<b>111-12</b>	Otu	Remedios	183	209
		Yondó	14	
		Vegachí	12	
<b>407-12</b>	S. Pedro Urabá	San Pedro De Urabá	162	200
		Arboletes	19	

		Fuera De Antioquia	8	
		Turbo	6	
		Necoclí	5	
<b>415-12</b>	Necoclí	Necoclí	173	189
		Turbo	16	
<b>414-11</b>	La Toyosa	Arboletes	82	179
		Necoclí	63	
		San Juan De Urabá	34	
<b>415-13</b>	Necoclí	Necoclí	166	166
<b>165-12</b>	Yondó	Yondó	161	162
		Fuera De Antioquia	1	
<b>411-11</b>	Urabá	Turbo	150	160
		Apartadó	10	
<b>409-12</b>	Arboletes	San Juan De Urabá	86	149
		Necoclí	38	
		Arboletes	25	
<b>109-12</b>	Amalfi	Amalfi	129	145
		Yolombó	9	
		Remedios	7	
<b>306-13</b>	Valdivia	Briceño	131	144
		Valdivia	5	
		Ituango	5	
		Yarumal	3	

2019:

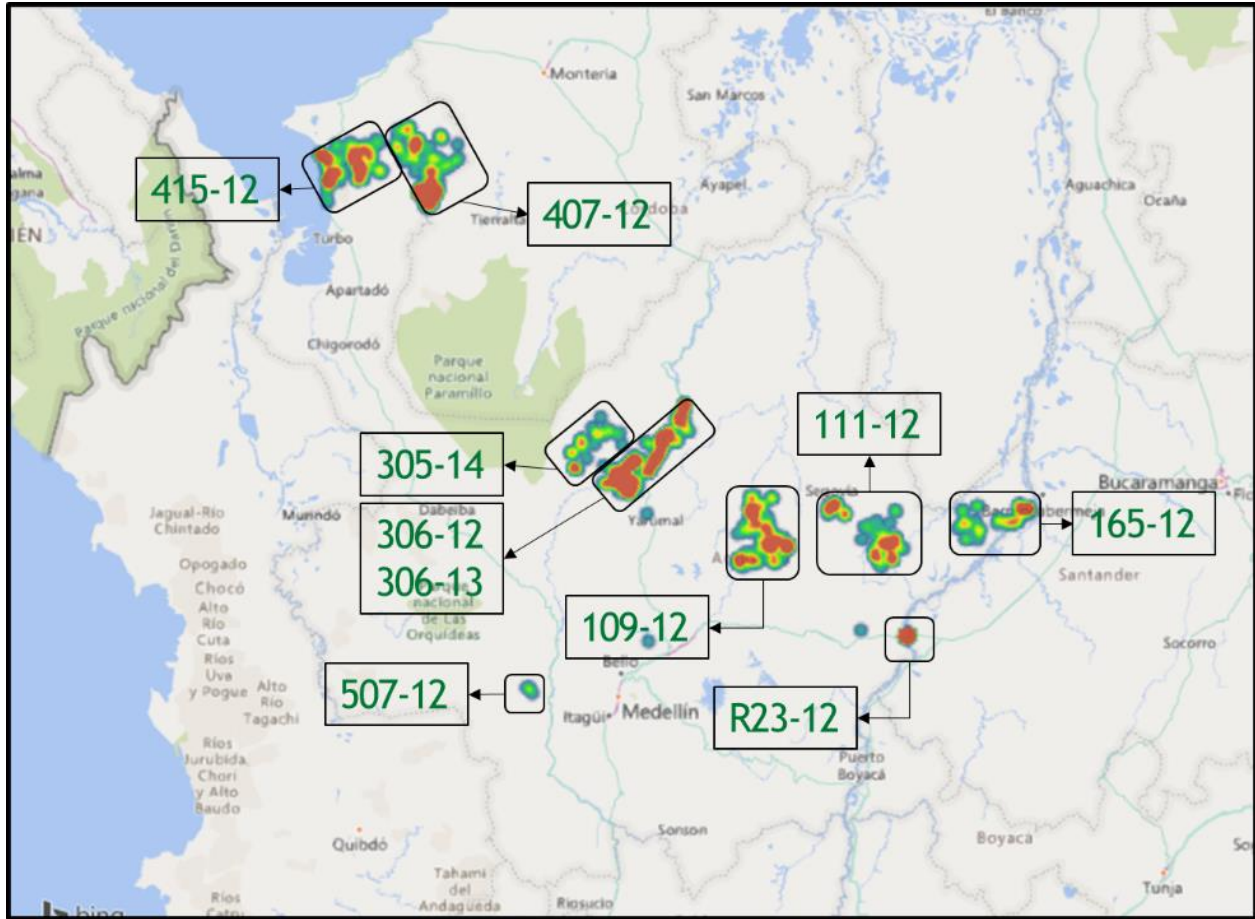


Fig. 25. Mapa de calor con los 13 circuitos con más cambios de medidores en 2019, hasta junio ("quemado", "malo", "dañado", "apagado").

Tabla 16: Clasificación de los 10 circuitos con más cambios de medidores "quemado", "malo", "dañado", "apagado", en 2019.

NRO CTO	SUBESTACION	MUNICIPIO	SUBTOTAL	TOTAL
407-12	S. Pedro Urabá	San Pedro De Urabá	145	179
		Arboletes	16	
		Turbo	10	
		Necoclí	5	
		Fuera De Antioquia	3	
415-12	Necoclí	Necoclí	111	150
		Turbo	39	
109-12	Amalfi	Amalfi	127	138
		Yolombó	6	
		Remedios	5	
165-12	Yondó	Yondó	120	124

		Remedios	3	
		San Roque	1	
<b>111-12</b>	Otu	Remedios	119	124
		Yondó	3	
		Vegachí	2	
<b>306-13</b>	Valdivia	Briceño	110	121
		Valdivia	8	
		Ituango	3	
<b>305-14</b>	Ituango	Ituango	115	115
<b>R23-12</b>	Malena	Puerto Berrío	109	109
<b>306-12</b>	Valdivia	Valdivia	97	108
		Tarazá	11	
<b>507-12</b>	Betulia	Betulia	88	102
		Anzá	14	