



Universidad
Nacional
de Córdoba



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES



PRÁCTICA SUPERVISADA

"RELEVAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE MONITOREO METEOROLÓGICO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA Y DE DATOS PARA LA CALIBRACIÓN HIDROLÓGICA DEL RADAR RMA1"

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

ALUMNO: PETROLI, Gastón Hernan

TUTOR INTERNO: ING. INGARAMO, Ricardo

SUPERVISOR EXTERNO: DRA ING. DIAZ, Érica

AÑO 2016

AGRADECIMIENTOS

Un especial y confortante agradecimiento a mis padres, Cacho y Elena, por su enorme apoyo permanente e incondicional, por todo su cariño, su confianza y los valores que me han brindado en todos estos años y me siguen dando. Por ser mi sostén en la vida diaria, mis referentes, consejeros, amigos, mis primeros y mejores educadores. Este logro académico es sin duda gracias a ellos.

A mis hermanos, César y David, y a mis cuñadas, Sonia y Carolina, de quienes guardo gratos recuerdos, que me apoyaron y apoyan en cada paso, que me ayudaron, me aconsejaron en cada etapa. A pesar de las distancias que nos separan ellos siempre mantienen su presencia cerca. A mis sobrinos, Sofía, Tiziano, Isabella, Ema y Emilia, a quienes extraño cada día, que siempre transmiten alegría con sus juegos, risas e inocencias. A quienes los vi crecer y los quiero de todo corazón.

A mi novia, Sofía, por transitar a mi lado estos últimos 3 años de carrera transmitiendo su bondad, armonía y cariño en cada logro y en cada tropiezo, estimulando el avance y el crecimiento. Gracias por el inmenso apoyo e impulso de cada día.

A mis amigos de la vida, con los que compartí innumerables momentos, a quienes tengo presente en cada paso y tengo la suerte de contar con ellos, alegrando y facilitando los días.

A mi gran amigo, Bruno, quien me depositó su cálida amistad desde el primer instante. Por sus consejos, charlas y momentos. Gracias por el apoyo incondicional.

A mis amigos de la facultad, por todas las experiencias compartidas, aportando a mi crecimiento y aprendizaje.

Al tutor de mi práctica profesional supervisada, Ing. Ricardo Ingaramo, quien a través de ella, me permitió conocer los mejores ejemplos de solidaridad en la necesidad, de equilibrio en la ansiedad, de exigencia en la imprecisión, de armonía en el trastorno, de honestidad en la profesión. Gracias por estos valores que permitirán el desarrollo de mis aptitudes en el contenido y fuera de él. Gracias por promover mi libertad aún en la dependencia.

Al Dr. Andrés Rodríguez, por incluirme en este gran y ambicioso proyecto, por su contribución en mi desarrollo académico, profesional y personal. Agradezco tener la posibilidad de adquirir aprendizaje de personas con grandes trayectorias.

Al Mg. Gerardo Hillman, por incluirme en el ámbito laboral colaborando enormemente en mi crecimiento profesional.

A la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba por permitir mis estudios en forma gratuita en sus instalaciones y sus grandes docentes que aportaron a mi formación académica y crecimiento profesional.

RESUMEN

Los radares meteorológicos permiten la elaboración de pronósticos con una adecuada definición espacial y temporal, pero producen estimaciones muy poco precisas de la intensidad de lluvia caída en un punto. Por ello es necesario integrar los datos del radar con registros pluviométricos de superficie, a fin de ajustar los algoritmos que permiten realizar la transformación de los ecos medidos por el radar en precipitación u otras variables meteorológicas de interés (Comes et al. 2016)

En este trabajo se presenta el relevamiento de la infraestructura disponible para el monitoreo meteorológico dentro de la Provincia de Córdoba, de la tecnología empleada, del estado en que se encuentra y de las variables que se pueden registrar en cada uno de los sitios relevados. Además, se presenta un análisis de los eventos pluviométricos ocurridos dentro del área de cobertura del radar meteorológico RMA1 (perteneciente al Sistema Nacional de Radares Meteorológicos), que fueron registrados simultáneamente por el radar desde su puesta en operación en julio de 2015 hasta el 8 de marzo de 2016 y por estaciones meteorológicas automáticas.

Para cada tormenta individual, se superpone la mancha abarcada por el evento detectado por el radar con un mapa que contiene las estaciones meteorológicas de superficie. En esta intersección de imágenes se determina qué estaciones resultan afectadas por la tormenta para bajar los datos correspondientes de las bases de datos pluviométricos administradas por diferentes organismos: Instituto Nacional del Agua CIRSA INA (19 estaciones – tecnología Alert), Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA (8 estaciones), Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba (37 estaciones – tecnología Omixom), Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba (40 estaciones – tecnología Alert y Omixom), Bolsa de Cereales (106 estaciones), Servicio Meteorológico Nacional (7 estaciones) y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (22 estaciones). Con esos datos se procede a la construcción de los hietogramas para cada estación correspondientes a las tormentas consideradas. Adicionalmente se han analizado datos de viento en superficie medido en algunas de las estaciones de la red.

Esta información es la base para iniciar el proceso de calibración hidrológica del radar RMA1, experiencia de este tipo pionera en el país.

Índice

CAPÍTULO 1:.....	MARCO GENERAL	
.....		6
1.1	INTRODUCCIÓN.....	6
1.2	ANTECEDENTES	8
1.2.1:	Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME)	8
1.2.2:	Radar Meteorológico Argentino (RMA1).....	9
1.2.3:	Grupo Radar Córdoba (GRC).....	13
CAPÍTULO 2:.....	OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	
.....		14
2.1	OBJETIVOS GENERALES.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2.3	RELEVAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS.....	14
2.3.1:	Descripción de las instituciones involucradas.....	14
2.3.2:	Datos a relevar en cada estación meteorológica	26
2.3.3:	Metodología.....	33
2.4	EMPLEO DE UN RADAR METEOROLÓGICO.....	34
2.4.1:	Conceptos básicos sobre estimación de la precipitación	35
2.4.2:	La ecuación fundamental del radar	37
CAPÍTULO 3:.....	RELEVAMIENTO DE ESTACIONES	
.....		40
3.1	INTRODUCCIÓN.....	40
3.2	ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA	41
3.3	RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO.....	44
CAPÍTULO 4:.....	RELEVAMIENTO DE TORMENTAS	
.....		49
4.1	INTRODUCCIÓN.....	49
4.2	PRIMEROS PASOS.....	49
4.3	PROCEDIMIENTO DE BÚSQUEDA.....	52
4.3.1:	Superposición de imágenes	52

4.3.2: Ingreso a la base de datos y descarga de la información.....	53
4.4 RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO.....	55
CAPÍTULO 5:.....	CONCLUSIONES
.....	71
5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1.1: Respecto al relevamiento de estaciones.....	71
5.1.1: Respecto al relevamiento de tormentas.....	71
5.2 CONCLUSIONES PERSONALES.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	74
INDICE DE FIGURAS.....	75
INDICE DE TABLAS.....	77
ANEXO I: Relevamiento de Estaciones.....	77
ANEXO II: Relevamiento de Tormentas.....	81

CAPÍTULO 1: MARCO GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es el informe técnico de la asignatura "Práctica Supervisada". La misma tiene como objetivo que el alumno aplique los conocimientos adquiridos en la carrera Ingeniería Civil en una problemática específica.

En esta monografía se describen los aspectos abordados en el desarrollo de esta Práctica Profesional, detallándose a continuación generalidades de la problemática estudiada, y como se planteó el trabajo sobre la misma.

El Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba junto al Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba, firmaron un Convenio de Colaboración mediante el cual el Laboratorio se comprometió a iniciar las tareas para la calibración del radar meteorológico RMA1 de la provincia de Córdoba, el cual se encuentra en estado operativo. Esta calibración está en curso, pero no es trivial ni existe en la actualidad una metodología única y probada en el mundo. Es necesario ajustar las funciones de transformación de Reflectividad en Precipitación en función del tipo de meteoro, altura del evento, topografía del terreno, corrección por viento, etc. (Proyecto PICT, 2015)

Dentro de este contexto, para poder conseguir los objetivos de este convenio, se hace necesario contar con datos meteorológicos que se relevan a partir de la infraestructura disponible dentro de la región de estudio. En este trabajo se va a presentar un inventario de la misma, la información que se puede extraer de ella y las instituciones involucradas en su administración.

Posteriormente, se muestra una aplicación en la cual se relevaron datos, en su mayoría pluviométricos, de una tormenta que resulta de elevado interés como caso de estudio debido a la gran extensión territorial y a la fuerte intensidad que tuvo la misma.

Los radares meteorológicos y sus sistemas asociados permiten la identificación, análisis, monitoreo, pronóstico y evaluación de los fenómenos hidrometeorológicos y de los procesos físicos involucrados. Entre sus principales aplicaciones se puede mencionar:

- Descripción del estado del tiempo, generación de pronósticos a mediano y corto plazo;
- Provisión y monitoreo de contingencias ambientales;
- Estudios de la física de la atmósfera;
- Suministro de datos para la investigación científica y tecnológica.

La posibilidad de disponer de pronósticos inmediatos y a corto plazo hace del radar una herramienta imprescindible para anticipar la ocurrencia de eventos extremos y generar la información necesaria para la puesta en marcha de planes de emergencia, evitando que estos desastres naturales pongan en riesgo la vida y los bienes de los habitantes afectados por tales eventos.

Sin embargo, la utilización de los radares meteorológicos en hidrología requiere la validación de los datos monitoreados, ya que el radar no mide directamente la lluvia y para su estimación se vale de la relación entre la reflectividad Z, medida a partir de la potencia recibida (la cual está relacionada con la distribución de tamaños de gotas detectadas en el volumen de muestreo) y la intensidad de la lluvia R.

Las estaciones pluviométricas proporcionan datos puntuales de precipitaciones muy precisas, pero con una pobre definición espacial debido precisamente a la forma en que se mide la lluvia en cada estación. La interpolación entre estaciones que normalmente se realiza a los fines prácticos difícilmente refleja la realidad del fenómeno. Los radares meteorológicos, en cambio, permiten una cobertura espacial muy detallada de la precipitación dentro de su radio de cobertura, pero la estimación puntual de la lluvia caída en un punto suele ser poco precisa debido a la diversidad de factores que afectan las mediciones realizadas por el radar (como viento, distribución de las gotas, presencia de granizo, atenuación del haz del radar, etc.) y a la complejidad del fenómeno físico involucrado (Petroli et al. 2016)

Con lo antes expresado queda planteado el problema: es necesario realizar la integración de los datos medidos por el radar con los datos de lluvia medidos en estaciones meteorológicas de superficie, para la estimación y eventualmente la predicción de la precipitación en proximidades de las mismas.

La Calibración Hidrológica ya se encuentra en una fase inicial, a través de Grupo Radar Córdoba (GRC) como Nodo Córdoba del Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SiNaRaMe) de la República Argentina, y su objetivo es llegar a producir estimaciones confiables de precipitación a partir de las variables medidas por el radar. Este proceso se debe realizar contrastando los datos de reflectividad medidos por el radar con datos de lluvia registrados por una red de pluviógrafos en superficie con una alta resolución espacial y temporal. Con el fin de mejorar la calibración y complementar las observaciones de las redes meteorológicas convencionales, resulta conveniente incorporar además mediciones de disdrómetros, que permiten cuantificar la distribución de la precipitación proporcionando el tamaño real de gotas.

En la zona de influencia del RMA1, dentro de la Provincia de Córdoba, existe una densa red de estaciones meteorológicas de superficie que brinda una amplia cobertura espacial así como los datos necesarios para la calibración hidrológica del radar, situación que no es común en el resto del país (Rodríguez et al. 2016).

Esta realidad, sumado al hecho de que se ha conformado un equipo interdisciplinario muy importante para abordar las diferentes tareas relacionadas con la operación del RMA1, permite que sea el primer caso en el país donde se sigue un procedimiento sistemático para su calibración, proceso dentro del cual las actividades desarrolladas en esta Práctica constituyen el punto de partida.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1: Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME)

El presente informe tiene como principal antecedente y contexto nacional al Proyecto **SiNaRaMe** (Sistema Nacional de Radarización Meteorológica de la República Argentina) creado en 2009 por Contrato entre la SSRH del MinPlan e INVAP y dirigido por el Dr. Andrés Rodríguez, desde el inicio de las primeras conversaciones con INVAP en 2007, su concreción en 2009, hasta Diciembre 2015; y coordinado actualmente por el Lic. Carlos Lacunza desde enero 2016. Este ambicioso Proyecto está integrado por un consorcio de 26 Instituciones y cuatro Ministerios de la Nación y se encuentra en pleno desarrollo, con resultados ya disponibles (ver <http://sinarame.gob.ar>, y diversas publicaciones propias como Rodríguez y Ciappesoni 2011, Bertoni et al. 2015, Caranti et al. 2015, Vidal et al. 2015, Saulo y Rodríguez 2015, Comes et al. 2016, Rodríguez et al. 2016 y Petrolí et al 2016.)

En junio de 2011 la Presidencia de la Nación anuncia el lanzamiento del SiNaRaMe en el marco del apoyo al desarrollo científico-tecnológico nacional, y asigna a la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación la coordinación y supervisión de este ambicioso proyecto. El objetivo planteado en ese momento era desplegar una red nacional de radares meteorológicos que permitiera cubrir la mayor parte de la geografía del país, con un sistema de manejo centralizado de la información a tiempo real, a cargo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

La primera etapa del proyecto SINARAME consistió en el desarrollo, fabricación y puesta en funcionamiento del prototipo del primer Radar Meteorológico Argentino (RMA) de última generación, RMA0 (Figura 1), encomendado a la empresa estatal Invap con sede en la Prov. de Río Negro (<http://www.invap.com.ar/es/espacial-y-gobierno/proyectos-de-gobierno/proyecto-sinarame.html>) e instalado en la ciudad de Bariloche. A esto le siguió la fabricación del primer radar operativo de serie, RMA1, instalado en la ciudad de Córdoba. Asimismo, se realizó el diseño, la implementación y la instalación de un Centro de Operaciones (COP) con capacidad de recepción y procesamiento en tiempo real de datos de la actual y futura red nacional de radares meteorológicos. Esta primera etapa del proyecto concluyó a mediados del año 2015 con la puesta en operación del RMA1.

La segunda etapa del proyecto consiste en la construcción, instalación y puesta en marcha de 10 radares meteorológicos argentinos distribuidos en distintos puntos del país (Figura 2), que se suman a los ya existentes conformando una red de 10 radares. El sistema de radares se complementa con una red de 55 Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA), 11 disdrómetros y el equipamiento para 5 centros regionales de procesamiento, todos provistos por Invap.



Figura 1: Radar Meteorológico Argentino RMA0 – Bariloche, Río Negro



Figura 2: Red de sistema de radares de Argentina

1.2.2: Radar Meteorológico Argentino (RMA1)

El radar meteorológico RMA1 (Figura 3), construido por la empresa nacional INVAP, fue instalado a principios de 2015 en un predio de la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). La UNC está estrechamente involucrada en este proyecto a través de dos unidades académicas, implicadas con roles y responsabilidades específicas, la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF), y Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFN). En julio del mismo año comenzó a operar en forma efectiva.



Figura 3: Radar Meteorológico Argentino RMA1 – Córdoba

Los datos generados por el radar se concentrarán “en bruto” en un centro de recepción ubicado al pie del radar y enviados a un Centro de Operaciones instalado en la ciudad de Buenos Aires y operado por el SMN (Bertoni et al. 2015). Está equipado con tecnología Doppler, en Banda C con doble polarización simultánea, y tiene un alcance de 480 km en modo vigilancia, 240 Km en Doppler y 120 Km en alta resolución (Figura 4). Sus especificaciones técnicas permiten una altitud de barrido que varía entre -1° y 90° en todas las marcaciones de los 360° acimutales. Debido a la presencia de los cordones serranos su área de cobertura real se encuentra parcialmente limitada hacia el Oeste (Figura 5).

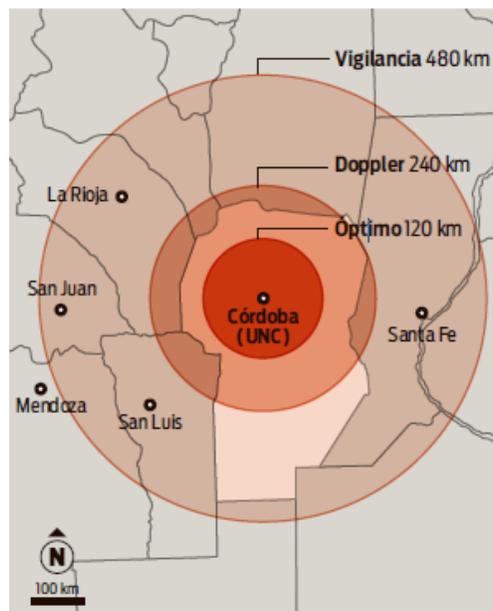


Figura 4: Radio de cobertura potencial del RMA1, según modo de operación

La operación del RMA1 será realizada por la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF) y la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEF) de la UNC, con el apoyo del Centro de la Región Semiárida (CIRSA-INA). A tal efecto se ha firmado un Convenio entre ambas Facultades que establece la conformación de una Comisión Interfacultades, encargada de gestionar la operación de radar. El RMA1 puede realizar diversos tipos de monitoreo, tales como los que fueran previamente mencionados. Una vez puesto en operación se espera poder brindar una amplia gama de servicios a la comunidad, como por ejemplo:

- Generación de pronósticos a corto y muy corto plazo de eventos meteorológicos extremos (vientos, lluvia, granizo, etc.) dentro de su área de cobertura, especialmente útiles para la ciudad de Córdoba y el Gran Córdoba donde la densidad urbana y demográfica resulta fuertemente afectada por este tipo de eventos;
- Pronóstico de tormentas de tierra, sales y eventualmente de cenizas de volcanes, que afectan el tránsito vehicular en las rutas de la Provincia de Córdoba y que obligan a su cierre o a la implementación de medidas de precaución;
- Generación de información para la toma de decisiones en la gestión de emergencias;
- Apoyo a la seguridad en la aeronavegación;
- Alertas tempranas para la gestión óptima de embalses;
- Apoyo para el manejo de actividades agropecuarias;
- Clasificación de hidrometeoros para estudios de erosión por impacto de gotas de lluvia;
- Provisión de datos para estudios hidrometeorológicos y de física de la atmósfera.

En ese marco, a la fecha la FAMAF se ha encargado fundamentalmente del seguimiento de los aspectos técnicos relacionados con la instalación del radar, mientras que la FCEF y el CIRSA han comenzado las tareas preliminares orientadas a realizar la calibración hidrológica del radar.

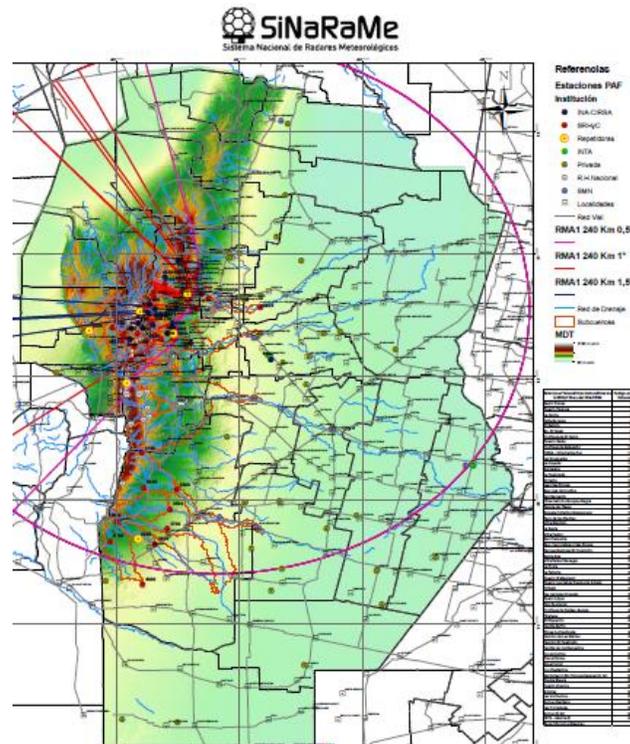


Figura 5: Radio de cobertura del RMA1 y estaciones pluviométricas de la provincia

El lugar de emplazamiento del RMA1 ha sido estimado conveniente por varios motivos. Por un lado se aprovechó información generada en proyectos anteriores relacionados con la instalación de un radar en la zona, readecuándose una torre diseñada y construida a tal efecto en el año 2006. Además, al estar ubicado en la ciudad de Córdoba, entre los radares de Paraná y de Mendoza, completa el monitoreo en una vasta zona sin información de ese tipo al momento de iniciar su operación. El radio de cobertura del RMA1 se solapa al Este con el del INTA de Paraná, circunstancia que puede ser aprovechada para posibilitar el contraste de datos de ambos radares (Figura 6), que va a tener importancia sobre todo en la etapa de calibración del radar de Córdoba.

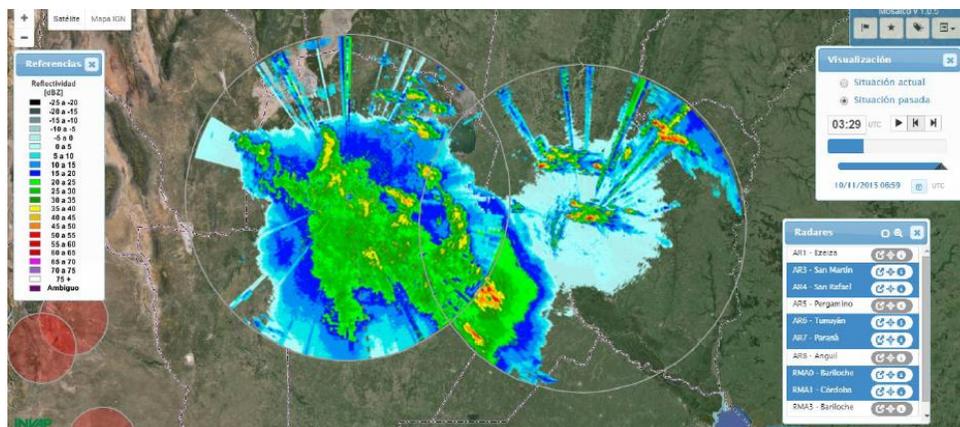


Figura 6: Intersección entre radar de Córdoba y Paraná

En el mapa se observa la intensidad de los fenómenos climáticos con imágenes generadas por el RADAR, denominadas COLMAX, las cuales expresan la intensidad de los rayos reflectados en dBZ. A mayor valor de dBZ mayor es la densidad, básicamente del agua, en un punto dado, pudiéndose decir que es proporcional al tamaño y la cantidad de gotas de lluvia en el volumen dado como se demostrará más adelante. De esta manera, los tonos celestes serían lloviznas o lluvias muy débiles, los tonos verdes serían lluvias débiles a moderadas, los tonos amarillos serían lluvias moderadas a fuertes y los tonos rojos son tormentas de fuerte intensidad. El tono blanco corresponde a la presencia de granizo en algún punto de la nube.

También es importante remarcar que en relación con su instalación se realizó previamente un estudio de impacto ambiental, cuyos resultados fueron puestos a disposición de las áreas pertinentes de la Provincia y de la Municipalidad de Córdoba, el cual fue aprobado por ambas jurisdicciones. En el marco de ese estudio se realizaron mediciones de radiaciones ambientales en un amplio rango de frecuencias, y todas estuvieron dentro de los valores establecidos por la normativa vigente.

1.2.3: Grupo Radar Córdoba (GRC)

En el marco del proceso de radarización meteorológica argentina, iniciado por SiNaRaMe, diversas instituciones y proyectos han surgido para colaborar, desde distintas perspectivas, con la generación de conocimiento en esta área de la ciencia tan incipiente en nuestro País. Entre estas, y con la llegada a Córdoba del RMA1, nació el **Grupo Radar Córdoba**; un conjunto interdisciplinario de profesionales con un interés en común: el estudio, la comprensión, el diseño, el desarrollo y el testing de sistemas de sensado remoto, entre ellas, las asociadas a los sistemas de radar. (<http://www.grcba.com/objetivos/>)

El objetivo colectivo es constituir un polo tecnológico y científico referente en los sistemas de radar a nivel nacional, enfocando el trabajo en la investigación y en el desarrollo de herramientas para el aprovechamiento de los sistemas de radar, en función a las diversas necesidades detectadas tanto en el sector público como privado. Para ello, se cuenta tanto con el apoyo de FaMAF, quien pone a disposición del equipo un laboratorio de microondas, la FCFN que aporta sus equipos técnicos a través del Laboratorio de Hidráulica para la calibración hidrológica del radar, como de SiNaRaMe, que brinda acceso a la información provista por el RMA1.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general del presente trabajo es el relevamiento de la infraestructura disponible en la Provincia de Córdoba, que permita la obtención de datos meteorológicos, los cuales serán el input del proceso de calibración hidrológica del radar meteorológico RMA1 – Córdoba.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dentro de los objetivos específicos se pueden citar:

- Encontrar, geo-referenciar y caracterizar la red de estaciones meteorológicas que se localicen dentro del área de cobertura del RMA1, pertenecientes los diferentes organismos que las gestionan.
- Determinar la información meteorológica que puede obtenerse de cada estación.
- Emplear los datos obtenidos para el planteo de un caso de aplicación relacionado con la calibración hidrológica del RMA1.

2.3 RELEVAMIENTO DE DATOS METEOROLÓGICOS

2.3.1: Descripción de las instituciones involucradas

Como primera medida se realiza una breve descripción de las instituciones que administran las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro del área de cobertura del RMA1.

Posteriormente se describe la información que será necesaria para la futura calibración hidrológica del radar.

2.3.1.1: Laboratorio de Hidráulica de la UNC

El Laboratorio de Hidráulica (http://www.inv.lab_hidraulica.efn.uncor.edu/) (Figura 7) perteneciente al departamento de Hidráulica de la FCEFYN de la UNC es el único en su tipo en la Provincia de Córdoba. Creado a mediados de la década de 1940 presta servicios académicos a las Universidades Nacional de Córdoba y realiza actualmente actividades de investigación científico-tecnológica financiada en proyectos provinciales de la Agencia Córdoba Ciencia, nacionales de CONICET, Agencia Nacional de Promoción Científica, SECYT e Internacionales para la Unión Europea. Los servicios técnicos y de consultoría especializada en hidráulica se han realizado para numerosas Direcciones Provinciales del País, y los principales organismos Nacionales. Para estos clientes se han

realizado numerosos modelos físicos reducidos a fondo fijo y móvil de obras y estructuras hidráulicas, incluyendo presas, azudes, sifones, vertederos, alcantarillas, disipadores de energía, como así también modelos fluviales bidimensionales y tridimensionales. Adicionalmente se realizan tareas de reparación y calibración de instrumental hidrométrico. El Laboratorio cuenta con el equipamiento propio de ensayos físicos en canal vidriado de pendiente variable apto para ríos de montaña de 14 m x 0,5m x 0,6 m, bombas mayores (2 sumergibles de 100 l/s c/u) y menores, instrumental hidrométrico de campo y laboratorio como limnímetros ópticos, limnógrafos digitales, vertederos de aforo, molinetes y mini molinetes, velocímetro Doppler 3D, tubos Pitot, instrumental de mediciones limnológicas y sedimentológicas, etc. , diversos modelos reducidos a fondo fijo y móvil en una nave cubierta de más de 400 m². El personal disponible en el LH de la UNC incluye profesionales del campo de la Ingeniería en áreas técnicas que incluyen mecánica de fluidos, hidrología, limnología, obras hidráulicas, hidráulica fluvial, hidráulica marítima, hidráulica computacional, hidráulica ambiental, análisis digital de imágenes, todas con sus correspondientes modelos computacionales y software específico de pre y pos proceso, análisis de datos.



Figura 7: Laboratorio de Hidráulica – Universidad Nacional de Córdoba

2.3.1.2: Instituto Nacional del Agua

El Instituto Nacional del Agua (INA) (<http://www.ina.gov.ar/cirsa/>) es un organismo científico tecnológico descentralizado que tiene por objetivo satisfacer los requerimientos de estudio, investigación, desarrollo y prestación de servicios especializados en el campo del aprovechamiento y preservación del agua. Este organismo depende de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.

Continuador de las tareas iniciadas en el año 1973 por el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas (INCYTH), lleva más de 40 años contribuyendo al crecimiento económico, al bienestar social y a la salud ambiental, a través de una gestión equitativa y sustentable del agua.

Cuenta con una estructura técnica y científica integrada por centros especializados, regionales y programas con sede en distintas ciudades de la Argentina. El INA realiza estudios y presta servicios técnicos de gran especialización, tanto para organismos públicos como privados, poniendo a disposición del país instalaciones, instrumentos y un equipo humano altamente calificado.

Dentro de sus campos de estudio se encuentran:

- Biogeoquímica del agua.
- Evaluación de impacto ambiental y riesgo por obras de infraestructura y accidentes en cuerpos de agua.
- Evaluación de sitios contaminados y tecnologías para su remediación.
- Hidrología superficial y subterránea.
- Hidrología urbana.
- Sistemas de alerta hidrológico para inundaciones, aluviones, crecidas, sequías y derrames.
- Hidráulica de grandes obras.
- Hidráulica fluvial, marítima e industrial.
- Información hídrica.
- Ingeniería de riego y drenaje.
- Ingeniería de minimización, tratamiento de agua, efluentes y residuos.
- Ingeniería de control de erosión y sedimentación.
- Calidad de agua.
- Normatización sobre los recursos hídricos.

2.3.1.3: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos de Córdoba

El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentos (<http://www.cba.gov.ar/reparticion/ministerio-de-agricultura-y-ganaderia/>) tiene la misión de asistir al Poder Ejecutivo provincial en la generación, promoción e implementación de políticas públicas para los sectores agroalimentario y agroindustrial. Promoviendo el desarrollo sustentable del sector desde tres bases fundacionales: lo ambiental, lo económico y lo social. Haciendo foco en el control y la fiscalización de las normativas vigentes en materia de protección

ambiental, conservación de los recursos, sanidad animal y vegetal, y seguridad alimentaria.

Sobre la base de esta misión, la cartera agropecuaria asigna un valor estratégico fundamental a la relación armónica entre los estamentos nacionales, provinciales y municipales, tendientes a fortalecer las economías regionales en el marco de la Región Centro.

Todo ello a partir de una visión o un concepto fundacional: "La producción agropecuaria la hacen y la deben hacer los productores". Por este motivo, todas las iniciativas estarán atravesadas por la decisión de fortalecer el arraigo de los trabajadores rurales y sus familias, en los mismos lugares donde llevan adelante sus producciones.

Se toma imprescindible trabajar desde el estado en la integración de la perspectiva de género en todos los planes y estrategias de desarrollo rural y políticas agrarias públicas. Esta definición merece un apartado especial, que estará vinculado a la puesta en marcha de acciones concretas destinadas a fortalecer el rol de la mujer como sujeto agrario activo y como catalizador natural de arraigo familiar rural.

Los ejes del organismo son:

- Producción con sustentabilidad.
- Seguridad en ámbitos rurales.
- Hincapié en la sanidad y la salubridad.
- Bienestar del productor agropecuario.
- Autosuficiencia de las pequeñas producciones rurales.
- Acceso a la vivienda en la zona rural.
- Aceitar el eslabón de la comercialización por sobre todos los demás procesos de la cadena agroalimentaria.
- Mejoramiento de la infraestructura.
- Incorporación de valor agregado en origen.

Todos estos ejes tendrán como actores fundamentales a los agentes zonales del ministerio desplegados en todo el territorio provincial.

2.3.1.4: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

El **Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)** (<http://inta.gob.ar/>) es un organismo estatal descentralizado con autarquía operativa y financiera, dependiente del Ministerio de Agroindustria de la Nación. Fue creado en 1956 y desde entonces desarrolla acciones de investigación e innovación tecnológica en las cadenas de valor, regiones y territorios para mejorar la competitividad y el desarrollo rural sustentable del país.

Sus esfuerzos se orientan a la innovación como motor del desarrollo e integra capacidades para fomentar la cooperación interinstitucional, generar conocimientos y

tecnologías y ponerlos al servicio del sector a través de sus sistemas de extensión, información y comunicación.

La institución tiene presencia en las cinco ecorregiones de la Argentina (Noroeste, Noreste, Cuyo, Pampeana y Patagonia), a través de una estructura que comprende: una sede central, 15 centros regionales, 52 estaciones experimentales, 6 centros de investigación y 22 institutos de investigación, y más de 350 Unidades de Extensión

Por su parte, dos entidades privadas creadas por la Institución en 1993, Intea S.A. y Fundación ArgenINTA, se suman para conformar el Grupo INTA.

El resultado del trabajo del INTA le permite al país alcanzar mayor potencialidad y oportunidades para acceder a los mercados regionales e internacionales con productos y servicios de alto valor agregado.

El INTA cuenta con una Base de Datos centralizada para brindar información meteorológica actual e histórica. SIGA es el Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica que a través de la Web permite el acceso a estaciones meteorológicas en todo el territorio nacional (Figura 8).

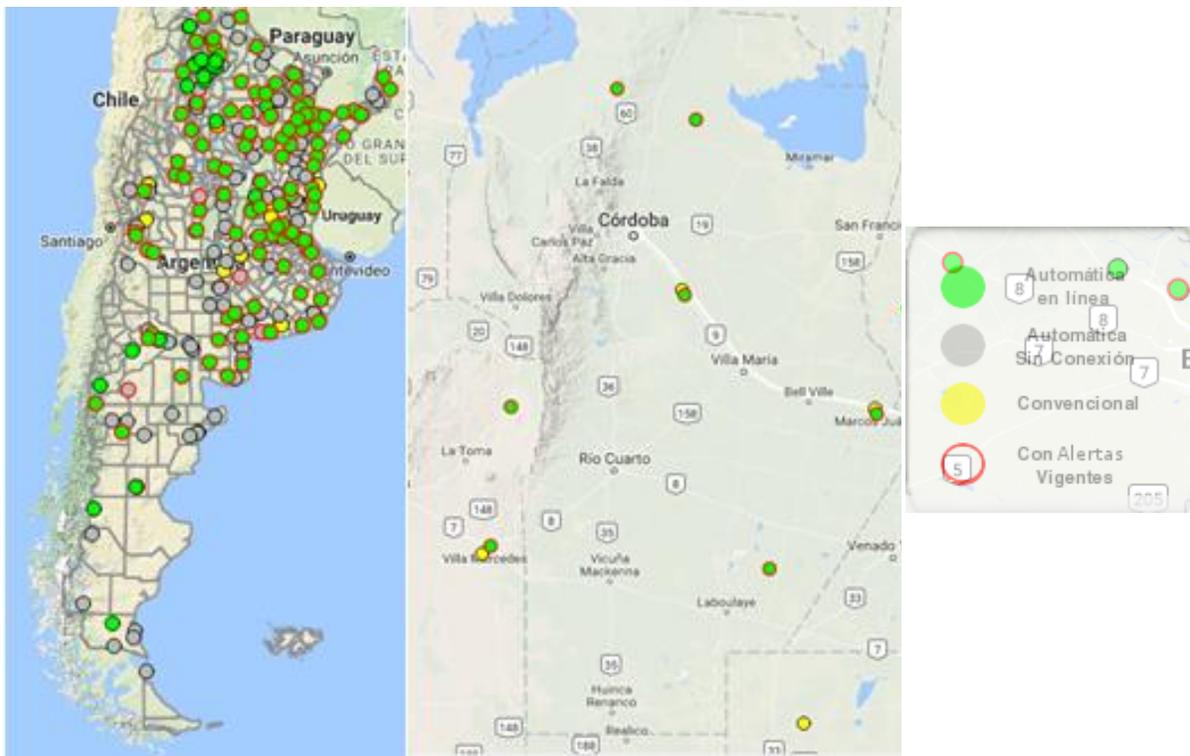


Figura 8: Red de estaciones del INTA

2.3.1.5: Secretaría de Recursos Hídricos - Córdoba

La Secretaría de Recursos Hídricos (<http://www.cba.gov.ar/reparticion/ministerio-de-agua-ambiente-y-servicios-publicos/secretaria-de-recursos-hidricos-y-coordinacion/>) es un organismo que funciona dentro del Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la Provincia de Córdoba.

Dentro de sus funciones se pueden especificar:

- Establecer el ámbito del dominio público determinado la línea de ribera de los cursos naturales de agua y de los lagos; delimitar las áreas de embalse; reglamentar el uso y explotación de cauces y márgenes; y rectificar el deslinde del dominio público cuando por cambios de circunstancias resulte necesario.
- Regular el uso de las aguas, condicionándolo a las distintas disponibilidades y necesidades reales mediante reservas, vedas, declaración de agotamiento, limitaciones, estímulos, concesiones, permisos, prioridades y turnos.
- Fijar restricciones al dominio privado imponiendo a sus titulares o usuarios obligaciones de hacer o de no hacer para la mejor administración, explotación, exploración conservación, contralor o defensa como efectos nocivos sobre las aguas.
- Otorgar permisos o concesiones para el uso privado de las aguas –con excepción de la concesión para la provisión de agua potable y servicios sanitarios-, y ejercer la tutela y vigilancia de los usos y concesiones.
- Fijar y controlar normas técnicas de calidad, uso y dotación de agua, de parámetros de volcamiento de líquidos cloacales y residuales, de explotación de áridos en las áreas de su actuación y jurisdicción, de la actividad náutica; y para la implementación de nuevos servicios de saneamiento urbano y rural.
- Establecer los marcos normativos necesarios al que deberán sujetarse todas las actividades que utilicen el recurso hídrico.
- Integrar y fomentar la creación y funcionamiento de organismos de cuenca en toda la provincia, orientando el trabajo a la explotación, conservación, protección y preservación del agua superficial y subterránea.
- Promover la investigación, estudio y desarrollo de técnicas y métodos de diseño hidráulico, nuevos procesos de potabilización de agua y de depuración de líquidos cloacales e industriales, y demás aspectos que hacen al saneamiento urbano y rural. Como así también de todo otro estudio tendiente a racionalizar y uniformar tecnologías relacionadas a las obras e instalaciones sanitarias e hidráulicas.
- Ejercer el Poder de Policía en todas las actividades que afecten de manera directa o indirecta el recurso hídrico en coordinación con los demás organismos competentes, teniendo poder sancionatorio para exigir el cumplimiento de las normas, multar,

ordenar el cese o clausura de los establecimientos que no se ajustaren a la normativa legal y reglamentaria vigente y formular denuncias por ante las autoridades jurisdiccionales.

- Procurar el fortalecimiento de redes de mediciones o monitoreo sistemático a través de programas de cooperación técnica y presupuestaria con entidades provinciales y nacionales –públicas o privadas-, prestatarias de obras y servicios públicos y los usuarios del agua, manteniendo un sistema de información provincial sobre las variables meteorológicas y el recurso hídrico con el objeto de procesar su flujo en forma permanente.
- Programar estudios de los acuíferos explotados y fijar, para todos los usos posibles (potable, riego, producción, etc.), normas de extracción con indicación de los umbrales críticos de cantidad y oportunidad, en relación con la capacidad de recarga de la cuenca.
- Estudiar, proyectar, contratar, ejecutar y explotar, por si misma o a través de terceros, obras hidráulicas que contengan por objeto la captación, derivación, alumbramiento, conservación, descontaminación o utilización del agua o defensa contra los efectos nocivos de las aguas, a saber: obras de embalse, obras de riego y drenaje, acueductos, perforaciones, galerías y pozos filtrantes, obras de desagües pluviales y protección a núcleos urbanos, obras de corrección y defensa de cauces y márgenes.
- Actuar como árbitro en los conflictos que pudieran suscitarse en materia de recursos hídricos en el territorio de la provincia.
- Funcionar como autoridad de aplicación de las disposiciones contenidas en las siguientes normas o los instrumentos legales que en el futuro las sustituyen o modificaren:
 - 1) Ley N° 5589 "Código de Aguas de la provincia de Córdoba".
 - 2) Ley N° 5040 "Régimen de la Actividad Náutica".
 - 3) Decreto N° 529/94 "Marco Regulador para la Prestación de Servicios Públicos de Agua Potable y Desagües Cloacales en la provincia de Córdoba".
 - 4) Decreto 415/00 "Normas para la Protección de los Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos".
 - 5) Decreto 4560, Serie C, Año 1955 "Servicios Sanitarios Prestados por Particulares".
 - 6) Ley N° 6604 "Consortios de Usuarios de Riego y Otros Usos del Agua".
 - 7) Toda otra normativa que le conceda potestades relacionadas con el cumplimiento de su objeto.

2.3.1.6: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación

La Subsecretaría de Recursos Hídricos (<http://www.mininterior.gov.ar/obras-publicas/subsecretaria-rh.php>) interviene en la elaboración y ejecución de la política hídrica nacional y de la política relativa a los servicios públicos de abastecimiento de agua potable y saneamiento. Asimismo, propone el marco regulatorio del manejo de los recursos hídricos y la organización y fortalecimiento del sector de agua potable y

saneamiento. Vincula y coordina la acción de las demás jurisdicciones y organismos en la prestación y expansión de estos servicios.

La Subsecretaría diseña, coordina e implementa el Plan Nacional del Agua en todo el territorio nacional basado en cuatro ejes de la política hídrica orientados en la necesidad de lograr el desarrollo regional, contribuir a la generación de empleo y disminuir el porcentaje de la población en situación de pobreza.

Los ejes del Plan Nacional son: Agua y saneamiento, adaptación del territorio al cambio climático, agua para la producción, y aprovechamientos multipropósito y biomasa. Las metas específicas del Plan Nacional son: alcanzar la provisión de agua potable al 100% de la población, y el 75% en cloacas y desagües, incrementar en un 17,5% las áreas con sistemas de riego sumando más de un millón de hectáreas productivas, adaptar el territorio a los efectos del cambio climático mediante la realización de obras en territorio, y realizar obras de usos múltiples del agua.

La implementación del Plan Nacional del Agua está regido por los principios de preservación de los recursos hídricos, fortalecimiento de capacidades de los actores asociados al agua, la innovación para lograr mejoras prácticas y tecnologías locales al servicio del desarrollo y participación a fin de aumentar el compromiso y responsabilidad de los actores.

La Subsecretaría supervisa y coordina el accionar del Instituto Nacional del Agua (INA), del Organismo Regulador de Seguridad de Presas (ORSEP), del Ente Regulador de Agua y Saneamiento (ERAS), de la Agencia de Planificación (APLA), del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA), y de los restantes organismos descentralizados y desconcentrados que se encuentren dentro de su órbita. Asimismo es autoridad de aplicación en los contratos de concesión de agua potable y saneamiento (AYSA).

También ejerce el contralor del accionar de la Comisión Regional del Río Bermejo (COREBE); del Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO); de la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los Ríos Limay, Neuquén y Negro; así como de todo otro organismo de gestión de cuencas en representación del Estado Nacional.

Es función de la Subsecretaría evaluar los recursos hídricos del país mediante redes, sistemas de observación y monitoreo continuo, y administrar el sistema de información de recursos hídricos. Además participa de la agenda nacional e internacional del cambio climático en asuntos referidos al agua.

La SSRH cuenta con una Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI) de la red de estaciones meteorológicas administradas y operadas por el organismo (Figura 9). El acceso a la misma es totalmente gratuito y libre.

En la presente base de datos se puede encontrar los registros provenientes de estaciones propias de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación así como de otros organismos que han adherido a esta Base.

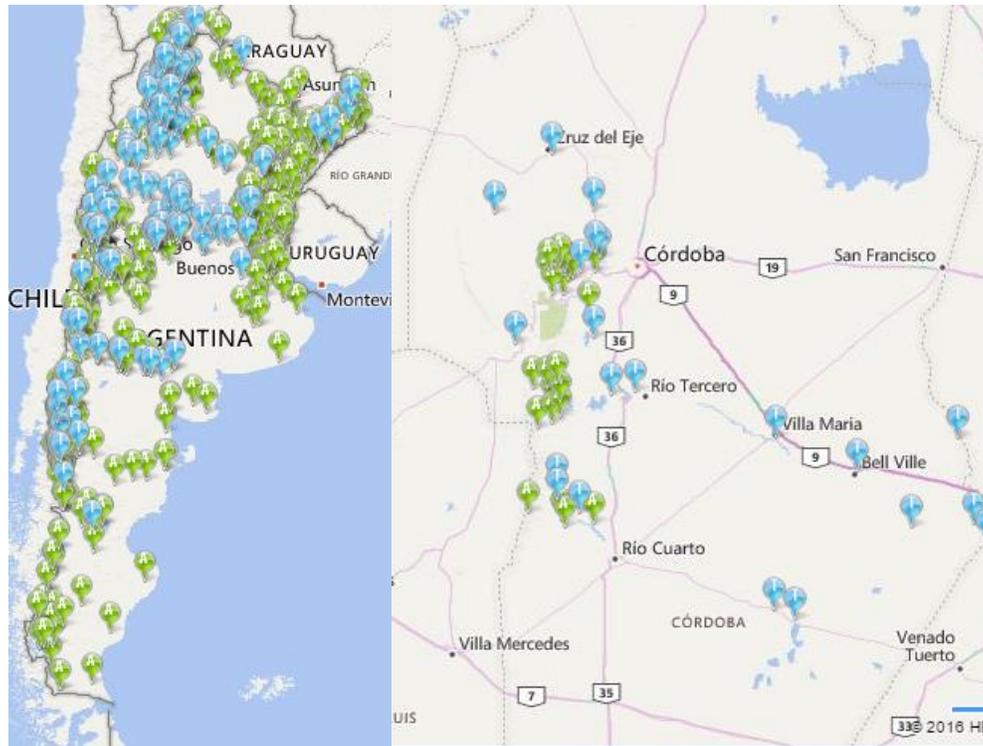


Figura 9: Red de estaciones de la SSRH de la Nación

2.3.1.7: Servicio Meteorológico Nacional

El Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (<http://www.smn.gov.ar/>), según la Ley N°12.945/45-Decreto 1678/73, es la institución encargada de dirigir la actividad meteorológica nacional y el desarrollo de las actividades hidro-meteorológicas y geofísicas afines; entender en la prestación de los servicios públicos correspondientes de inspección, pronóstico y asesoramiento; actuar técnicamente ante organismos internacionales y extranjeros relacionados con la atmósfera y el aeroespacio, realizar la actividad agro-meteorológica en coordinación con el Ministerio de Economía a fin de concurrir a la seguridad, la defensa y el desarrollo socio-económico de la Nación.

El principal componente del más importante programa de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), es el Sistema Mundial de Observación (SMO). Este sistema se compone de instalaciones terrestres, marítimas, aéreas y espaciales destinadas a la observación y medida de los distintos parámetros meteorológicos.

El Servicio Meteorológico Nacional, en su carácter de miembro activo desde la fundación de la OMM y siguiendo las normas y procedimientos recomendados internacionalmente, ha diseñado y mantiene en operación una vasta red de estaciones meteorológicas en toda la extensión del territorio nacional (Figura 10). En el diseño de estas redes se han tenido en cuenta, en forma prioritaria, las necesidades nacionales de datos meteorológicos, tratando asimismo de contribuir en forma simultánea, al desarrollo de los programas internacionales en vigencia.

Las redes de observación se diferencian entre sí por el tipo de observaciones que se realizan, el instrumental que utilizan, la frecuencia de las observaciones, la forma en que se transmiten esos datos y la finalidad de los mismos.

Es importante destacar dentro de este esquema, la Red de Estaciones Sinópticas de superficie; la misma está compuesta por 117 estaciones que toman datos horarios durante las 24 horas del día de parámetros meteorológicos tales como: temperatura, humedad, presión atmosférica, viento en superficie, ocurrencia de fenómenos meteorológicos, tipo y cantidad de nubosidad, etc.



Figura 10: Red de estaciones del SMN

Estas estaciones confeccionan un mensaje denominado "SYNOP", el que es sometido a un proceso de consistencia básico en la misma estación, a través de un sistema

automático desarrollado en el SMN (denominado Sistema de Observación Meteorológica, SOM) y luego transmitido en tiempo real a un centro de comunicaciones para su difusión nacional e internacional.

Actualmente se cuenta con 16 estaciones automáticas ubicadas estratégicamente (Figura 11), que permiten obtener datos para fines sinópticos, transmitiéndolos vía satélite por los sistemas ORBCOMM e INMARSAT. Se destaca, entre ellas, la estación de Punta de Vacas, en la Provincia de Mendoza, por encontrarse a 2400 metros sobre el nivel medio del mar y las recientemente instaladas en Isla Martín García y Pontón Recalada, dada su importancia para la navegación en el Río de la Plata.



Figura 11: Red de estaciones automáticas del SMN

Como puede observarse en la figura anterior, en la provincia de Córdoba solo hay una estación meteorológica automática, la estación de Villa María del Río Seco, al norte de la provincia.

2.3.1.8: Organismos privados: Bolsa de cereales de Córdoba

La Bolsa de Cereales de Córdoba (<http://www.bccba.com.ar/>) y Cámara de Cereales y Afines de Córdoba Tribunal Arbitral es una asociación civil sin fines de lucro que agrupa en su seno a los participantes de los sectores de la producción, comercialización, servicios, transformación y exportación de granos, cereales, oleaginosos, legumbres, frutos, productos y subproductos, brindándoles el ámbito adecuado para la realización de

sus operaciones y el marco de seguridad y legalidad necesaria para el cumplimiento de sus contratos.

Son sus objetivos:

- Asumir la representación de los sectores que la conforman.
- Fomentar el espíritu de cooperación de los sectores representados y ejercer funciones arbitrales.
- Coordinar la acción de quienes interviene en la producción, comercialización, servicios, transformación y exportación de granos, cereales, oleaginosos, legumbres, frutos, productos y subproductos.
- Tender al mejoramiento y transparencia de los usos comerciales.
- Promover dentro de su seno la adhesión de entidades representativas de cada uno de los sectores intervinientes.

Principales actividades prestadas en Bolsa de Cereales de Córdoba.

Tribunal Arbitral: Actúa como Tribunal Arbitral en carácter de amigable componedor o como Junta Conciliadora en las cuestiones o demandas que eleven a su consideración miembros adherentes o terceros.

Laboratorio de Análisis: Posee uno de los laboratorios de análisis más avanzados de la provincia para respaldar con las máximas garantías de imparcialidad las certificaciones de calidad que se le solicitan.

En el mismo se realizan análisis químicos, físicos y germinativos, para cereales, oleaginosos y demás productos agrícolas y sus subproductos, como así también de suelos, agua y alimentos en general, estando habilitados para expedir certificados de calidad.

Pizarra de Cotizaciones: La Bolsa de Cereales de Córdoba esta autorizada por la ex JNG (Junta Nacional de Granos) para informar diariamente el precio de la mercadería disponible de los distintos granos y oleaginosas

Registro de Contratos: La Bolsa ofrece a compradores y vendedores los siguientes servicios:

El organismo posee una extensa red de estaciones meteorológicas dentro de la Provincia de Córdoba (Figura 12) utilizadas para el monitoreo de variables meteorológicas.



Figura 12: Red de estaciones de la bolsa de cereales de Córdoba

2.3.2: Datos a relevar en cada estación meteorológica

Descriptas las instituciones que llevan la administración de las estaciones meteorológicas, se define la información que se hace imprescindible para cumplir los objetivos perseguidos por este trabajo y la justificación de la importancia que tiene cada uno.

1. Características de una estación meteorológica

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se usan tanto para conocer el estado de las principales variables climáticas como para permitir la implementación de modelos climáticos y elaborar predicciones sobre el clima.

Es necesario determinar las características generales de cada estación, qué variables mide y registra e identificar cuáles van a ser de utilidad para los fines que persigue este trabajo.

La mayor parte de las estaciones meteorológicas (Figura 13) están automatizadas, requiriendo un mantenimiento ocasional. Además, existen observatorios meteorológicos sinópticos, que cuentan con personal (observadores de meteorología), como es el caso de las del Servicio Meteorológico Nacional, de forma que además de los datos meteorológicos se pueden recoger aquellos relativos a nubes (cantidad, altura, tipo), visibilidad y tiempo presente y pasado. La recolección de estos datos es lo que se denomina observación sinóptica.

En este caso se relevan datos de: Marca y modelo de la estación, fecha de instalación y frecuencia de medición.



Figura 13: Estación meteorológica del Laboratorio de Hidráulica (UNC)

2. Ubicación del pluviómetro / pluviógrafo

Para la correcta calibración del radar es indispensable tener correctamente ubicado geográficamente el pluviómetro (Figura 14) o pluviógrafo (Figura 15), según el aparato que operan las distintas instituciones, para luego realizar la correlación entre lo medido por el radar en altura y lo registrado en superficie por el instrumento.

Se relevan datos de: coordenadas geográficas (latitud, longitud), altitud con la exactitud dependiente de la estación; región que ocupa dentro de los modos de operación del radar (doppler, frecuencia y modo vigilancia); por último la ubicación político – administrativa (localidad, departamento, provincia).



Figura 14: Tipos de pluviómetros

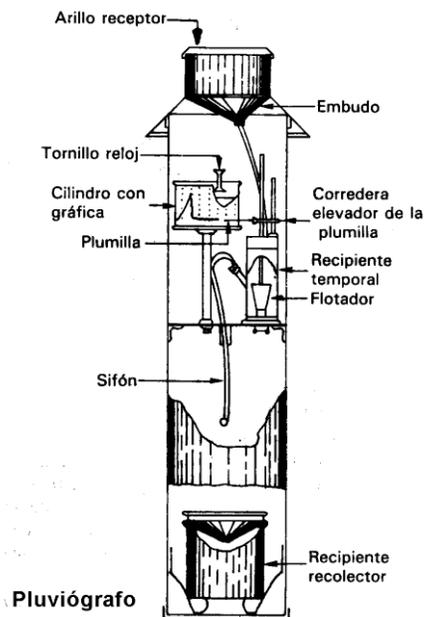


Figura 15: Pluviógrafo

3. Base de datos

Como consecuencia de que la red de las estaciones meteorológicas se encuentra operada por varios organismos diferentes, tanto provinciales, nacionales, como privados, se hace necesario ingresar a distintas bases de datos para obtener la información necesaria.

Como se verá más adelante, esta búsqueda de datos no siempre es sencilla. Esto es debido a diversos motivos: los datos se encuentran dispersos en diversos lugares; con distintos formatos, en papel o en formato digital, en Excel u otro tipo de archivo; la dificultad para poder adquirir los datos según la institución que lo administra; o el hecho de tener una cantidad considerable de organismos que operen un gran número de estaciones en una misma región geográfica.

4. Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas son las que describen el estado de la atmósfera. Los valores que toman esas variables constituyen los datos necesarios para poder desarrollar el procedimiento de calibración buscado.

Las mismas se pueden sintetizar, para los fines perseguidos, como:

- **Precipitación:** Es cualquier forma de hidro-meteoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Es un fenómeno que se forma por la condensación del vapor del agua presente en la atmósfera, el cual incluye lluvia (agua líquida), llovizna, nieve (cristales), aguanieve, granizo (agua congelada), pero no neblina o rocío, que son formas de condensación y no de precipitación. Esta condensación se produce cuando el aire que circula en un denominado "frente caliente" choca con un "frente frío", el mismo hace que el vapor de agua contenido en el volumen a mayor temperatura pase a la fase líquida, formando gotas de agua. Cuando éstas, llegan a tener un tamaño considerable adquieren un peso que no es capaz de retener la sustentación de la masa de aire, provocando su caída libre en forma de lluvia.

Todos los valores de precipitación se expresan en milímetros (mm) de líquido equivalente de agua para algún intervalo de tiempo. Un milímetro de lluvia corresponde a 1 litro de agua por metro cuadrado de superficie.

Para este factor se determina si se realiza una toma de datos diarios (mm); intensidad de precipitación instantánea (mm/h) y si mide a tiempo real o no.

Es necesario tener un correcto valor del mismo, precisamente porque esta magnitud es la que se va a comparar con las estimaciones realizadas a partir del radar

- **Viento:** Es el movimiento del aire, en cualquier dirección, causado por la diferencia de presión o bien, de temperatura, entre dos puntos.

Dentro del contexto de los fenómenos físicos presentes en la atmósfera, hay diversos factores que juegan un papel importante a la hora de correlacionar los valores de reflectividad obtenidos por el radar y los datos medidos en superficie por los pluviógrafos. Uno de ellos, tal vez el que tenga mayor relevancia, es el viento. Esto se debe fundamentalmente a la influencia del mismo en la caída de las gotas de lluvia que hace que sus trayectorias se desvíen de una vertical con origen en la ubicación de los medidores de precipitación, haciendo que las correlaciones de los datos de ambos aparatos no puedan realizarse en una misma ubicación espacial (Figura 16).

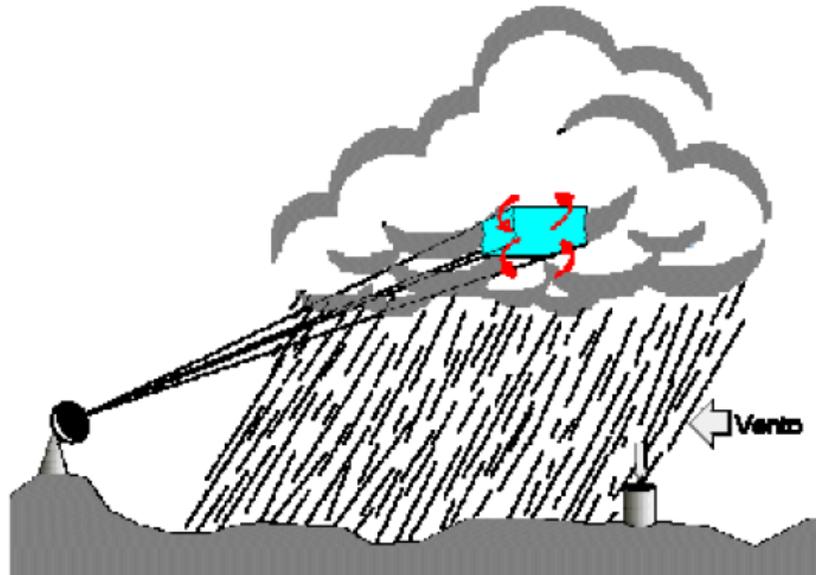


Figura 16: Influencia del viento en la medición de precipitaciones

Fuente: El empleo del radar meteorológico en los sistemas de alerta temprana para la predicción de inundaciones – Pardo y Martínez (2010)

- **Temperatura:** Es el valor promedio de la energía cinética de las partículas en una muestra de materia. Muchas propiedades físicas de la materia dependen de la temperatura, incluyendo la fase (sólido, líquido gaseoso), densidad, presión de vapor, conductividad eléctrica, etc.

Las estaciones registran datos continuos de temperatura, así como valores de mínima y máxima diarias en grados centígrados.

Este valor es imprescindible para la calibración electromagnética del radar, ya que es una variable que describe el estado de la atmósfera para un momento y lugar determinado, lo que lo hace una magnitud de suma importancia. Además, esta variable influye enormemente en fenómenos como proceso de creación de la nube, altura en que se forma, extensión, etc, lo que la hace también importante a la hora de la integración de los datos.

- **Presión atmosférica:** Es el peso de la columna de aire que gravita sobre una unidad de área, dividido entre dicha unidad de área (Mijares, 1999). La presión atmosférica varía con la altitud de la zona donde se mide.

Esta variable tiene la misma importancia que la temperatura en cuanto a su influencia en la formación del proceso de precipitación. Es decir, la precipitación ocurrirá cuando las condiciones de temperatura y presión sean las necesarias para que exista condensación del vapor de agua contenido en las nubes. Por lo que es una magnitud importante a considerar en el momento de la integración de los datos.

- **Humedad del aire:** Se refiere al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. Este vapor procede de la evaporación que ocurre en cuerpos de agua como lagos, ríos y océanos, y a la evapotranspiración de las plantas, procesos que tienen lugar en el ciclo hidrológico (Figura 17).

Esta variable influye sobre la cantidad de agua precipitada en un determinado lugar y momento, por lo que su valoración tendrá importancia en el proceso de calibración hidrológica.

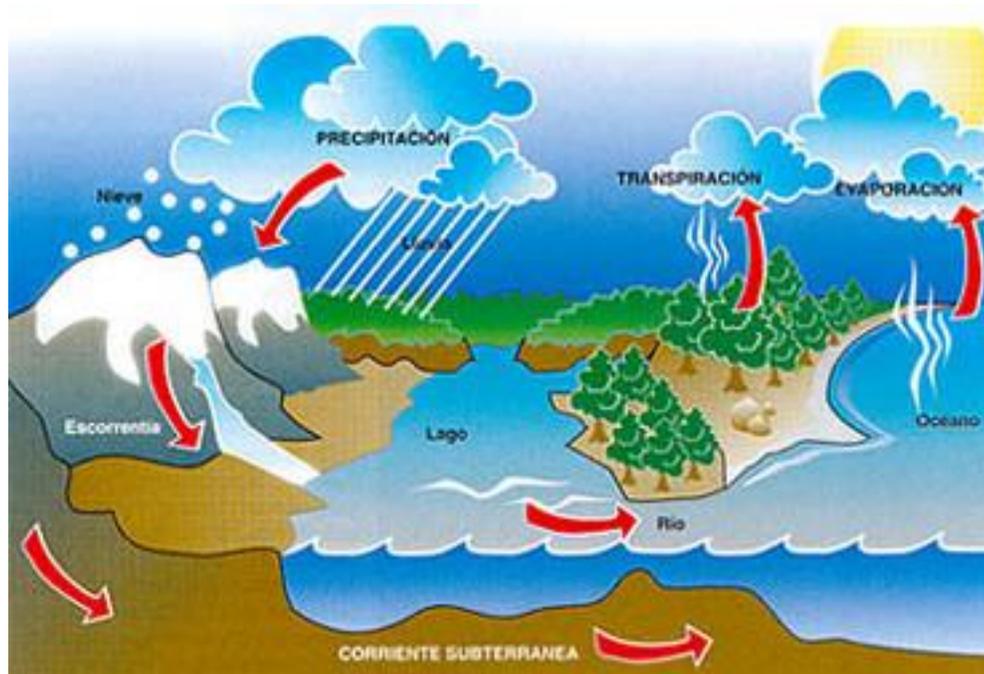


Figura 17: El ciclo hidrológico

- **Radiación solar:** Es el conjunto de radiaciones electromagnéticas que son emitidas por el sol, quien se encuentra en un proceso donde se producen reacciones moleculares en su interior, lo que provoca una liberación de energía. Esta última es transmitida en forma de radiación que es tomada por las plantas y los cuerpos de agua, provocando su evapotranspiración y evaporación, respectivamente (Figura 17).

En este caso de las estaciones se toman registros de heliofanía; radiación solar (W/m^2); Máxima diaria (índice).

Por lo tanto, este fenómeno está íntimamente ligado con el ciclo hidrológico mencionado en el punto anterior.

- **Punto de rocío:** Es la temperatura a la que comienza a condensarse el vapor de agua contenido, produciendo rocío, neblina, cualquier tipo de nube. Depende de la humedad del aire y de la temperatura de la misma.

Es un factor que va a influir en la formación de las gotas de agua que luego precipitarán en forma de lluvia.

5. Telemetría

Es una tecnología que permite la medición remota de magnitudes físicas y el posterior envío de información hacia el operador del sistema.

El empleo de la telemetría facilita el monitoreo automático y el registro de las mediciones.

Aunque la mayoría de las estaciones meteorológicas relevadas tienen incorporada esta tecnología, es sabido que algunas continúan utilizando, por ejemplo, pluviómetros convencionales donde la lectura y el registro de las precipitaciones lo realiza un operario, y los datos no se transmiten de manera automática. Es decir, el registro no es automático como en el caso de los pluviógrafos o los pluviómetros de alta frecuencia. Por lo tanto, es necesario documentar la forma de operación de cada uno de ellos.

A los fines de este trabajo se registra la forma de actualización de los datos (si es manual o automática); si se reinician la toma diaria de datos.

6. Otras variables:

- **Evaporación:** Es el proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones y en el suelo, en las capas cercanas a la superficie, a estado gaseoso y se transfiere a la atmósfera.

- **Evapotranspiración:** La transpiración es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas, naturalmente, del suelo. Como el nombre lo indica, evapotranspiración es la combinación de la evaporación y la transpiración.

- **Humedad del suelo:** Es la cantidad de agua por volumen de suelo en un determinado terreno. Se lo puede expresar como:

Humedad gravimétrica: Es el porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al peso de suelo seco.

Humedad volumétrica: Es el porcentaje de agua que contiene el suelo en relación al volumen de suelo húmedo. Es más racional utilizar la humedad gravimétrica que la volumétrica, ya que el peso de un suelo seco permanece invariable, mientras que su volumen varía con la estructura.

Humedad expresada en altura de agua: Del mismo modo como se expresa el agua caída en una precipitación.

Estos factores: evaporación, evapotranspiración y humedad del suelo, son variables que influyen en la cantidad de agua precipitada. Sin embargo, puede ser magnitudes que no sean consideradas en el modelo de calibración del radar. No obstante, su cuantificación puede resultar interesante para un futuro mejoramiento y optimización de dicho modelo.

2.3.3: Metodología

2.3.3.1: Inventario de estaciones

El desarrollo del inventario tiene como objetivo mostrar el estado actual de la infraestructura disponible dentro de la provincia de Córdoba, que en su conjunto permitirán la calibración del radar RMA1.

En cuanto a las estaciones meteorológicas, para poder elaborar el inventario se ingresó a la base de datos de cada entidad administradora de los mismos. Una vez dentro de cada base, se determinaron las variables monitoreadas y la manera en realizar las mediciones de las mismas.

Desafortunadamente, como se verá en el capítulo siguiente, del total de estaciones que se encuentran en la Provincia de Córdoba, no todas proporcionan datos útiles para calibrar el radar.

2.3.3.2: Relevamiento de tormentas

En un principio se tiene una lista de tormentas (Tabla 1) que son los eventos pluviométricos que fueron captados y medidos por el radar desde su puesta de operación.

Tabla 1: Lista de tormentas medidas por el radar

2015	2016
08 de septiembre	15 de febrero
04 de noviembre	23 de febrero
07 de noviembre	24 de febrero
10 de noviembre	29 de febrero
17 de noviembre	07 de marzo

Como primera medida se investiga sobre la repercusión que tuvo cada tormenta a través de medios de información proporcionada por internet.

Posteriormente, se ubican las estaciones meteorológicas. Para ello, con las coordenadas obtenidas del inventario se las georreferencia en el Google Earth, obteniendo así la red de estaciones de la Provincia de Córdoba.

Luego, para cada tormenta, se superpone el mosaico de reflectividad tomado por el radar con el archivo ".kmz" del Google Earth del paso anterior, con el fin de observar cuales estaciones meteorológicas se encuentran afectadas por el evento.

Una vez conocidas las estaciones involucradas, se ingresa a la base de datos de las instituciones que administran las mismas y se obtienen los datos de precipitación, dirección e intensidad de vientos, temperaturas, y las demás variables que sean necesarias y adquiribles.

Esta bajada de datos se encuentran en horario de Córdoba, mientras las de los radares en hora UTC (Tiempo Universal Coordinado), por lo que fue necesario llevar los datos de las variables meteorológicas al mismo horario que el radar para poder compatibilizar los datos y que la futura integración de reflectividad y precipitación sea la correcta.

Con estos datos se procede a realizar hietogramas y diagramas de precipitación acumulada y diagramas de vientos. Estos análisis en una mirada global permiten una primera interpretación acerca de la ocurrencia del evento.

2.4 EMPLEO DE UN RADAR METEOROLÓGICO

Los sistemas de modelado y alerta hidrológicos requieren el empleo de tecnología de monitoreo de precipitación que tenga una alta resolución espacial y temporal. El radar meteorológico es la herramienta que brinda la información más adecuada para estos fines.

El radar (**RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging) es un sistema electromagnético para la detección y localización de objetos (Pardo y Martínez, 2010). El principio de operación de un radar es relativamente simple: un transmisor emite un pulso de energía electromagnética, el cual se propaga a partir de una antena móvil. Esa señal viaja a la velocidad de la luz y, al encontrar un objeto es parcialmente reflejado retornando a través de la misma antena y encaminado por un conmutador automático para un receptor (Figura 18).

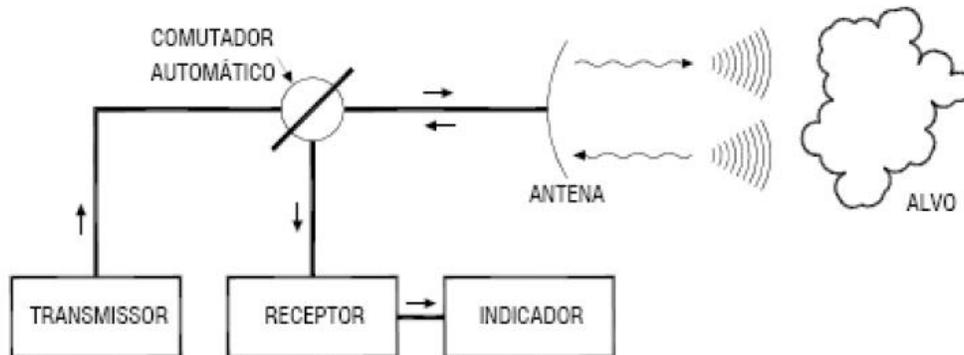


Figura 18: Esquema de funcionamiento del radar – Fuente: Pardo y Martínez (2010)

Las medidas de precipitación con radar se basan en la cantidad de energía que retorna al mismo reflejada por la lluvia, por los cristales de hielo o granizo, sobre los cuales incidió la radiación emitida a través de la antena. Los radares transmiten periódicamente un pulso de radiación electromagnética de microonda con duración de unos pocos microsegundos, un pico de energía de centenares de kW y frecuencia en la banda de los gigahertz. Cuando el pulso de energía choca con un blanco, una parte de la energía incidente es reflejada de vuelta siendo recibida por la antena, donde es detectada y de inmediato enviada a procesamiento. El intervalo de tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de la parte reflejada, determina la distancia entre el radar y el blanco.

Los radares muestran una región en el espacio. En la operación usual, la antena gira 360° para cada elevación. La elevación de la antena es modificada y se repite el procedimiento. De esa forma, para cada altura de antena es hecha una lectura en una envoltura cónica (Figura 19), que sumadas dan toda la cobertura del radar.

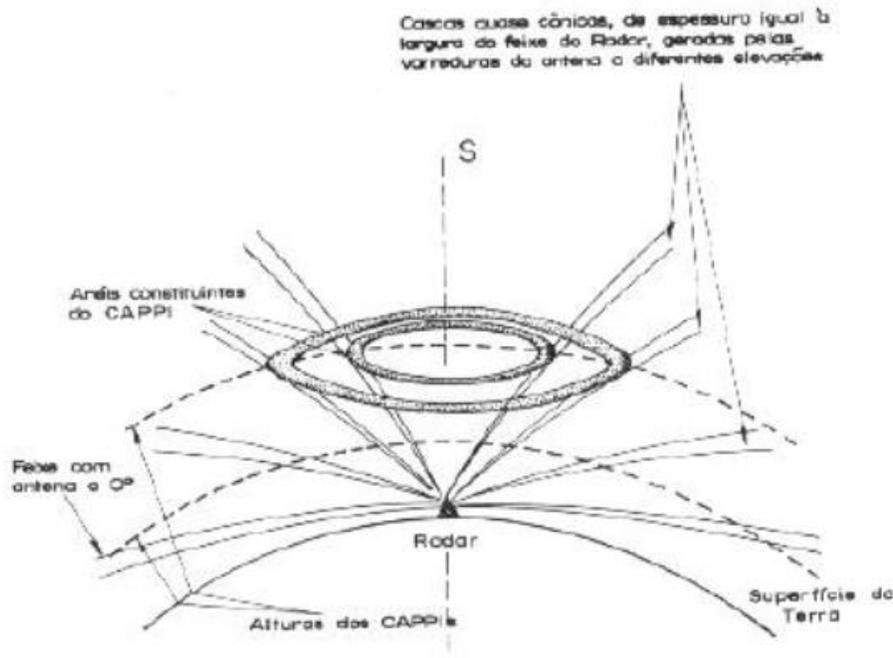


Figura 19: Barrido del radar – Fuente: Pardo y Martínez (2010)

Los radares pueden ser clasificados en función de las características de las ondas emitidas (Tabla 2)

Tabla 2: Relación entre longitud de onda, banda y frecuencia – Fuente: Pardo y Martínez 2010

Longitud de onda (cm)	Banda	Frecuencia (MHz)	Aplicación
0,8 – 2,7	K	30.000	Física de las nubes
2,8 – 3,8	X	10.000	Aeronaves
3,9 – 6,2	C	6.000	Meteorología
6,2 – 19,3	S	3.000	Meteorología
19,4 – 76,9	L	1.500	Control de tráfico

En el caso estudiado, el radar meteorológico RMA1, opera con una banda C.

2.4.1: Conceptos básicos sobre estimación de la precipitación

Para la lluvia la interacción de la onda electromagnética emitida por el radar con gotas de agua esféricas, se establece la proporcionalidad:

$$\sigma \propto D^6 \quad (1)$$

donde D es el diámetro de las gotas de lluvia en mm y σ representa la sección transversal del rayo reflejado que retorna al radar.

Esta proporcionalidad deja de cumplirse para longitudes de onda menores de 3 cm y diámetros de gotas mayores de 2,1 mm. La mayoría de los radares empleados en meteorología tienen longitud de ondas superior a 5 cm.

Para radares que trabajan con longitudes de ondas mayores, menor será σ y por tanto menos sensible será el radar. Por otro lado, los radares con longitudes de ondas pequeñas son más sensibles y detectan mayor cantidad de información, por lo que pueden tener la energía emitida atenuada y ello causa distorsiones en las medidas.

Una ecuación importante en el radar es:

$$Pr = CR_1 \frac{Pt}{l^2} \sigma \quad (2)$$

Donde

Pr: potencia recibida por el radar

CR₁: constante relacionada a parámetros específicos del radar

Pt: potencia emitida:

σ : sección transversal de la imagen reflejada que retorna al radar

l: distancia entre el radar y el blanco

La sección transversal de la imagen reflejada que retorna al radar realmente corresponde al valor medio de las imágenes reflejadas por varios blancos que fueron detectados por el radar, siendo correcto describir la ecuación y resultando:

$$\overline{Pr} = CR_1 \frac{Pt}{l^2} \sum_j \sigma_j \quad (3)$$

El factor de reflexión del radar Z se determina por $Z = \sum_j D_j^6$ se mide en mm⁶/m³ o en decibel (dBZ).

Resultando que la relación entre la potencia recibida y el factor de reflexión es:

$$\overline{Pr} = Pt \frac{C_2}{l^2} Z \quad (4)$$

Siendo \overline{Pr} la potencia recibida media desde todos los blancos. Cuando Z es calculado a partir de la potencia recibida media recibe el nombre de factor equivalente de reflectividad del radar Z_e .

De las Ecs. 1 y 3, y la proporcionalidad entre σ y el D^6 radica la utilidad que puede tener un disdrómetro al ser el aparato que permite el conocimiento de los tamaños de las gotas.

2.4.2: La ecuación fundamental del radar

El objetivo final de una calibración es el conocimiento de la precipitación a partir de los datos medidos por el radar. Por lo tanto, se hace necesario convertir el factor de reflectividad Z, obtenido por el radar, en intensidad de lluvia R.

Es importante resaltar que Z y R son enormemente diferentes a pesar de estar relacionadas con el mismo fenómeno físico. El factor de reflectividad Z corresponde a la cantidad y tamaño de las gotas de agua presentes en el volumen iluminado por el radar y R representa la lluvia que cae sobre un área puntual situada, generalmente, a 1,5 m por encima del terreno.

El factor de reflectividad Z también puede ser expresado como:

$$Z = \sum_{D_{min}}^{D_{max}} N_j D_j^6 \quad (5)$$

Que en el límite vale:

$$Z = \int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) D^6 dD \quad (6)$$

En el cual:

N_j : Número de gotas de diámetro D_j

La intensidad de lluvia R puede ser expresada como el flujo descendente de agua por unidad de área:

$$R = \frac{\pi}{6} \int_{D_{min}}^{D_{max}} N(D) D^3 V_t(D) dD \quad (7)$$

Siendo:

Volumen de la esfera = $\pi D^3/6$

V_t : velocidad terminal de caída de la gota de agua de diámetro D_j ; que puede ser expresada por $V_t = KD^c$, siendo K y c dos constantes.

Comparando las dos ecuaciones, se tiene la relación clásica entre precipitación y reflectividad del radar, también denominada ecuación fundamental o patrón:

$$Z = A R^b \quad (8)$$

Siendo:

Z (mm^6/m^3); R (mm/h)

Finalmente, encontrar la relación entre la reflectividad obtenida por el radar en el cuerpo de una nube y la precipitación medida en superficie por aparatos puntuales, radica en encontrar las constantes A y b, que dependerá de la región que se trate, del tipo de evento, etc.

Marshall y Palmer propusieron la primera relación en 1948, basada en muchas observaciones experimentales, que relacionaban las observaciones obtenidas por el radar y las medidas en pluviómetros (Pardo y Martínez, 2010)

En la **Tabla 3** se presentan algunas de las principales ecuaciones propuestas.

Tabla 3: Ecuaciones Z – R – Fuente: Pardo y Martínez (2010)

Z = A R ^b	A	b	Validez
Mashall – Palmer (1948)	200	1,6	Precipitaciones homogéneas y eventos estratiformes
Blaunhard (1953)	31	1,37	Precipitaciones orográficas
Jones (1956)	486	1,37	Precipitaciones convectivas
Joss y Waldvogel (1967)	230	1,4	Precipitaciones medias
Joss y Waldvogel (1967)	400	1,3	Procesos convectivos intensos
Joss y Waldvogel (1967)	100	1,4	Procesos frontales – gotas muy pequeñas
Smith et. al. (1975)	155	1,88	Procesos convectivos – presencia de granizo
Sekhon y Srivastava (1970)	1780	2,21	Nieve

Es conocido que los procedimientos de transformación de reflectividad en precipitación no son exactos, sino que están sujetos a numerosos errores que dependen de muchos factores como el tipo de tecnología empleada en el monitoreo, la zona de emplazamiento del radar (sus características topográficas, climatológicas, etc.), los algoritmos empleados, entre otros factores, lo cual determina que el ajuste es un proceso que normalmente demanda muchos años de mediciones continuas y de contrastes hasta llegar a resultados confiables.

Sin embargo un punto en común es la necesidad de contar con datos de lluvia medidos en superficie, para su comparación con los datos de precipitación estimados a partir del radar mediante el empleo de estos procedimientos, de manera de ajustar los parámetros que permitan minimizar el error de estimación. De esta necesidad surge el objetivo del presente trabajo.

Esta información alimentará los algoritmos de transformación de reflectividad en precipitación, variable fundamental para valorar la probabilidad de eventos hidrológicos extremos tanto en cuencas rurales como urbanas que puedan poner en riesgo la vida y los bienes de la población, y que justifiquen la formulación del alerta correspondiente. Los datos de precipitación estimados a partir del radar son de utilidad como input otras aplicaciones orientadas a la gestión de eventos hidrometeorológicos extremos, que emplean procedimientos relacionados con la la modelación del fenómeno lluvia-escorrentía.

CAPÍTULO 3: RELEVAMIENTO DE ESTACIONES

3.1 INTRODUCCIÓN

Como queda dicho, los algoritmos propuestos para estimar la relación Z-R, requieren la disponibilidad de datos de precipitación medidos en estaciones meteorológicas vecinas al sitio de emplazamiento del radar. En ese sentido, dentro del área de cobertura del radar RMA1 existen más de 200 estaciones meteorológicas, entre convencionales y automáticas, operadas por las diversas instituciones, incluyendo cinco estaciones meteorológicas automáticas incorporadas por el SiNaRaMe, instaladas en puntos estratégicos dentro del área de cobertura del RMA1: en Falda del Carmen, Mar Chiquita, Villa María, Pilar y Bosque Alegre. Además se instalará un disdrómetro en la Estación Terrena Córdoba de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) en Falda del Carmen.

Como se mencionó en el punto 2.3.3.1, no todas las entidades involucradas proporcionan datos útiles para el fin perseguido: la calibración del radar. Esto es debido a diversas causas:

- La manera en que se registran los datos: La mayoría de las instituciones miden datos diarios de precipitación, quizás por las finalidades que tienen cada organismo (INTA, SSRH de la Nación y SMN). Sin embargo, para estudiar la relación reflectividad – precipitación, es necesario tener los datos con mayor nivel de detalle, es decir, con mayor frecuencia en el tiempo.
- Dificultad para ingresar en la base de datos: Algunas organizaciones resguardan los datos, es decir, la información no es pública. Este es el caso del SMN, que si bien se pueden observar gráficos de resultados meteorológicos, no se puede ingresar al valor exacto del mismo.
- Dificultad para geo-referenciar las estaciones: No se cuentan con coordenadas geográficas de todas las estaciones meteorológicas, lo que convierte a las mismas en inutilizables para la calibración del radar, ya que se debe tener información precisa en cuanto a su ubicación. Este es el caso de las estaciones de la Bolsa de Cereales, ya que solo se tiene una aproximación de su localización, lo que las transforma en fuentes de datos imprecisos.

3.2 ESTACIÓN METEOROLÓGICA DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA

En el año 2006 se instaló en el predio del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba, dentro de Ciudad Universitaria (Figura 20), un modelo TECMES de estación meteorológica para monitoreo y control de diversas variables meteorológicas.

Esta estación contaba con sensores de radiación solar, precipitaciones, humedad, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento y un gabinete central que contenía las componentes electrónicas que realizaban la recolección y el almacenamiento de los datos.

En el año 2016 la estación debió ser trasladada de la posición 1 a 2 (Figura 20) debido a que el edificio de la SECYT afectaba las mediciones de viento.

Actualmente, la estación meteorológica es administrada por el Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba, pero pertenece a la red de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.

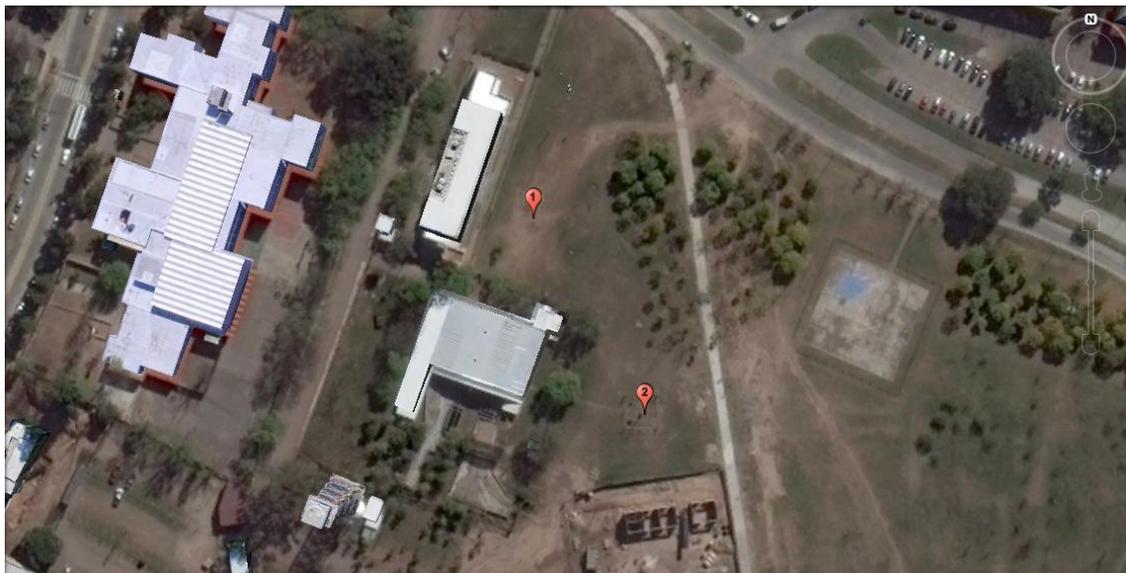


Figura 20: Emplazamiento de la estación meteorológica del laboratorio de hidráulica

Para poder acceder a la información recolectada, era necesario conectar una computadora a la estación y descargar los datos. De esta forma también se podían hacer algunas configuraciones básicas, tales como fecha, hora, período de muestreo, etc.

En el año 2013 el pluviómetro de la estación dejó de funcionar. Luego de detectar problemas de funcionamiento debido principalmente a la electrónica encargada de tomar y almacenar los datos, se decide reparar y actualizar los sensores de medición y las tecnologías de comunicación.

Esta tarea, encomendada al Laboratorio de Hidráulica de la UNC por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, se terminó de ejecutar en el mes de Agosto de 2016, contando con la asistencia de la empresa OMIXOM.

En el día de la fecha, la estación cuenta con los siguientes aparatos de medición:

- **Una unidad de evaporimétrica** (Figura 21)

Esta unidad está compuesta por:

- **Tanque evaporimétrico:** Mide la evaporación efectiva con un tornillo milimétrico, el cual toca suavemente la superficie del agua contenida en el tanque.

La malla de acero encima del tanque es únicamente para que no ingresen hojas de árbol o cualquier otro objeto al agua, lo que produciría una toma de datos errónea.

- **Anemómetro:** Mide dirección y velocidad del viento. Su uso radica en que el viento favorece la evaporación.
- **Pluviómetro tipo B:** Colocada a nivel del tanque. En este tipo de pluviómetro se realiza un registro de las mediciones de lluvia cada 24 hs. Se lo utiliza para compensación, sumando los mm registrados en el aparato.



Figura 21: Unidad evaporimétrica del laboratorio de hidráulica

- **Una unidad de medición de lluvia**

La misma está compuesta por:

- **Pluviómetro de alta frecuencia:** Colocada a una altura de 1,50 m. Contiene un sistema que permite la actualización automática cada 10 minutos (Figura 22).



Figura 22: Pluviómetro de alta frecuencia

- **Pluviómetro tipo B:** Colocada a la misma altura que el pluviómetro anterior. Se lo utiliza para realizar mediciones cada 24hs y así corroborar el buen funcionamiento del pluviómetro de alta frecuencia (Figura 23).



Figura 23: Pluviómetro tipo B, al lado de pluviómetro de alta frecuencia

También dentro del mismo predio, se encuentra una estación meteorológica de origen chino, pero debido a su escasa vida útil se encuentra en desuso (Figura 24).



Figura 24: Estación meteorológica china del laboratorio de hidráulica

3.3 RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO

A continuación se muestran los resultados que se obtuvo del relevamiento de las estaciones, considerando distintas clasificaciones. En el Anexo I: "Relevamiento de estaciones" se podrá encontrar la información completa y detallada de los resúmenes aquí presentados.

1. Distribución por organismos

Tabla 4: Estaciones por organismos

SRH - CBA	40
INA CIRSA	19
Ministerio de Agricultura y Ganadería	27
Bolsa de cereales	106
INTA	8
Servicio Meteorológico Nacional	7
SSRH de la Nación	22
TOTAL DE ESTACIONES	229

Se destaca que en algunos casos, como en el de la Sub Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, hay instaladas algunas estaciones más. Sin embargo, éstas se encuentran inactivas, por lo que no contribuyen al proceso de calibración, motivo por el cual no fueron consideradas en el inventario.

2. Distribución por modo de operación del radar

Tabla 5: Estaciones por operación del radar

Doppler: < 120 km	98
Frecuencia: Entre 120 km y 240 km	36
Modo vigilancia: Entre 240 km y 480 km	25
TOTAL DE ESTACIONES	159

Se puede observar que hay un total de 70 estaciones donde no se pudo conseguir la ubicación de las mismas, todas pertenecientes a la Bolsa de Cereales de la Provincia de Córdoba.

Esta clasificación es importante debido a que según la franja en que se encuentren las distintas estaciones meteorológicas, se determinará cuáles son las viables para la comparación con los datos de reflectividad arrojados por el radar.

A una distancia mayor a 240 km, esta comparación no podrá realizarse debido a que, como su nombre lo indica, el radar opera en forma de vigilancia y por lo tanto no se obtienen datos de reflectividad.

3. Distribución por variables medidas

Tabla 6: Estaciones por variables medidas

Medición solamente de pluviometría	180
Medición de variables meteorológicas	43
TOTAL DE ESTACIONES	223

Las 6 estaciones meteorológicas restantes no entran en esta categoría ya que son estaciones limnimétricas y/o de escala, es decir, miden caudales y/o alturas, y no han sido objeto de este relevamiento.

Se aclara que las estaciones de la Bolsa de Cereales se las incluyó en su totalidad dentro de los medidores de precipitación, aunque midan algunas variables meteorológicas como humedad y punto de rocío. Sin embargo, estas magnitudes no son tenidas en cuenta, por

lo menos hasta la fecha, para la calibración del radar, por lo que no son consideradas como medidores de variables meteorológicas.

4. Distribución por tecnología empleada en las mediciones

Tabla 7: Estaciones por tecnología empleada

Davis Instruments	9
Nimbus THP	5
Imetos	2
ALERT	58
omixom	28
TOTAL DE ESTACIONES	102

Como puede observarse, hay un total de 127 estaciones que no se ha podido encontrar información acerca de la tecnología empleada para realizar las mediciones. Entre estas se encuentran las pertenecientes a la Sub Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación y de la Bolsa de Cereales de la Provincia de Córdoba, con excepción de la estación Justiniano Posse, perteneciente a la Cooperativa Agropecuaria Unión y administrada por la Bolsa de Cereales que utiliza una tecnología Davis Instruments.

Las estaciones que son administradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), son las que presentan mayor diversidad en tecnología utilizada, algunas usan tecnología Davis, otras Nimbus THP y las demás Imetos.

Por su parte, la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba y el Instituto Nacional del Agua / Centro de la Región Semiárida (CIRSA), utilizan una tecnología ALERT para el manejo de sus estaciones. Con la salvedad de la estación meteorológica del Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Nacional de Córdoba que utiliza tecnología OMIXOM.

El resto de las estaciones, pertenecientes al Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba utiliza tecnología OMIXOM.

Según la tecnología empleada para la realización de las mediciones de las estaciones, serán las variables medidas por las mismas. Motivo por el cual esta clasificación se encuentra íntimamente ligada con la anterior.

5. Distribución por sistema de medición

Tabla 8: Estaciones por sistema de medición

Convencionales	8
----------------	---

Automáticas	201
TOTAL DE ESTACIONES	209

Del total, 22 estaciones no se encuentran incluidas en esta clasificación, las que corresponden a la Sub Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación, donde no se han encontrado datos en la manera en que operan las mismas. Mientras que 2 de las estaciones se sabe con certeza que poseen ambos tipos de sistema de medición. Estas son la estación de Marcos Juárez y la estación ubicada en Manfredi, ambas administradas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

El resto de las estaciones operan de manera automática. Sin embargo, en dos casos particulares que son la estación Justiniano Posse perteneciente de la Bolsa de Cereales la estación Laboratorio de Hidráulica operada por la Universidad Nacional de Córdoba y administrada por la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, tienen un reinicio de toma de datos cada 24hs, en el resto de las estaciones no se tienen datos precisos de la manera en que operan.

6. Distribución por frecuencia de medición

Tabla 9: Estaciones por frecuencia de medición

Por cangilonado	58
Cada 10 minutos	134
Total diario	24
TOTAL DE ESTACIONES	216

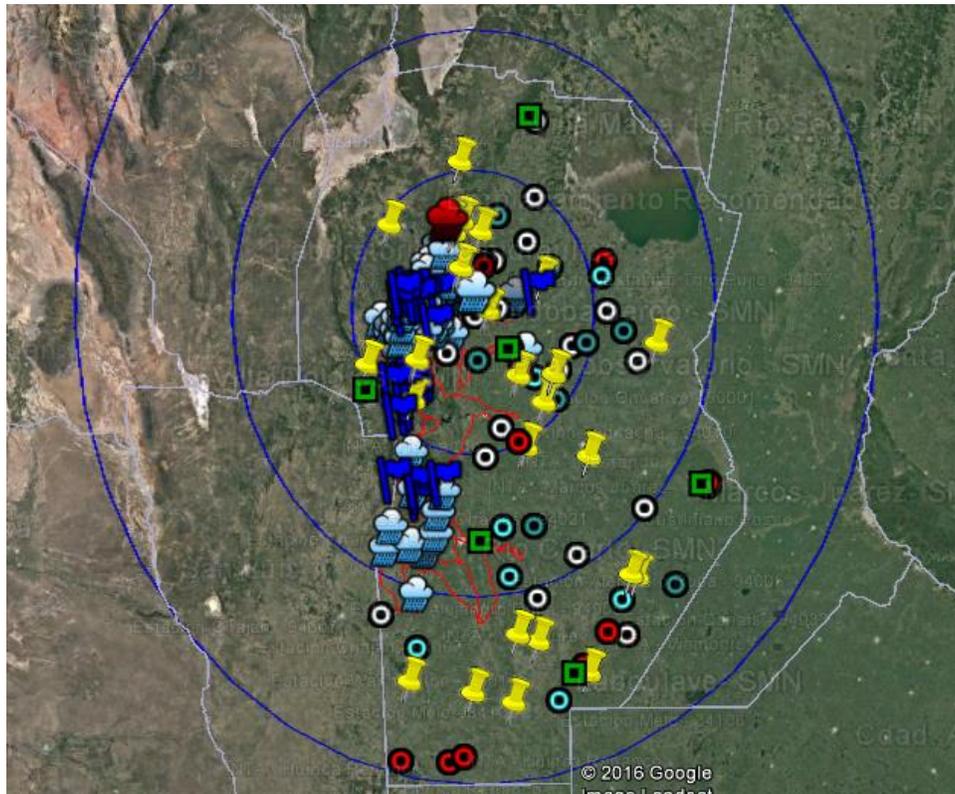
De las estaciones restantes, 7 son pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional que como se comentó anteriormente, no se tiene acceso directo a sus datos, y las 6 faltantes son de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación que no cuentan con datos de precipitación, ya que son estaciones de medición de caudales y/o de altura.

Cuando se habla de medición por cangilonado se refiere a que el pluviómetro instalado está compuesto por un sistema de cangilones, el cual se activa al detectar una elevación de 1 mm de agua captada por el aparato, registrando el tiempo en formato hh:mm:ss en que ocurrió esa altura. De esta manera operan las estaciones con tecnología ALERT de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba y del Instituto Nacional del Agua / Centro de la Región Semiárida.

Las estaciones con tecnología OMIXOM, que es el caso de la estación del Laboratorio de Hidráulica y las del Ministerio de Agricultura y Ganadería, operan de manera inversa. Estos en un intervalo de tiempo constante de 10 minutos registran el agua captada por el pluviómetro de alta frecuencia en ese intervalo.

Por su parte, las estaciones del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación solamente registran datos diarios de agua precipitada.

Por último se muestra la distribución de la totalidad de estaciones dentro de la Provincia de Córdoba, junto con los anillos que demarcan los distintos modos de operación del radar (Figura 25).



SIMBOLO	INSTITUCIÓN ADMINISTRADORA
	Secretaría de Recursos Hídricos - Córdoba / CIRSA
	Sub Secretaría de Recursos Hídricos - Nación
	Ministerio de Agricultura y Ganadería
	INTA
	Bolsa de cereales
	Servicio Meteorológico Nacional

Figura 25: Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas

CAPÍTULO 4: RELEVAMIENTO DE TORMENTAS

4.1 INTRODUCCIÓN

Luego del análisis precedente sobre las estaciones meteorológicas de la Provincia de Córdoba, se prosigue con el relevamiento de tormentas cuyos datos sean de utilidad para la calibración del radar meteorológico RMA1.

Se identificaron un total de 9 tormentas monitoreadas simultáneamente por el radar RMA1 y las estaciones meteorológicas de superficie, en el período que va de Septiembre del 2015 hasta Abril del 2016.

Dentro de las tormentas que el radar pudo recopilar datos de reflectividad (Tabla 1), se encontró que la última de la lista, correspondiente al 7 de marzo de 2016 arrojó datos de gran importancia por dos razones: la fuerte intensidad y gran la extensión espacial que tuvo el evento, que determinan que sea de sumo interés para analizar particularmente.

Para este relevamiento fue necesario ingresar a las bases de datos de las dos instituciones que brindan la información necesaria para el efectivo cumplimiento de los fines perseguidos (SRH y MAgyA ambos de la provincia de Córdoba).

A continuación se desarrolla el procedimiento utilizado para llevar adelante esta tarea

4.2 PRIMEROS PASOS

Como se anticipó en el punto 2.3.3.2, para cada evento particular, como primera medida se buscan reseñas históricas relacionadas con la tormenta (Figura 26 y Figura 27). Esto da una referencia de la magnitud de la misma y en qué lugares tuvo mayor repercusión, lo que ayuda en la identificación de las características del evento.

Sociedad

Lluvia y alta velocidad, combinación fatal: cuatro muertos

09/03/2016 | 06:01 | En Valparaíso al 4.000 una madre y su hija murieron luego de que la camioneta en que iban derrapara, volcar y chocara un poste. En tanto dos hombres fallecieron en la autopista a Carlos Paz.

Comentar Facebook Twitter Google+ Imprimir



Figura 26: Consecuencias de lluvias intensas (09/03/2016)

Fuente: <http://www.cadena3.com/contenido/2016/03/09/Lluvia-y-alta-velocidad-combinacion-fatal-cuatro-muertos-159572.asp>

Sociedad

Cortes en la Costanera por crecida del Suquía

09/03/2016 | 08:52 | La Municipalidad realiza distintos bloqueos preventivos debido a la apertura del 100 por ciento de las dos válvulas del Dique San Roque.

Comentar Facebook Twitter Google+ Imprimir

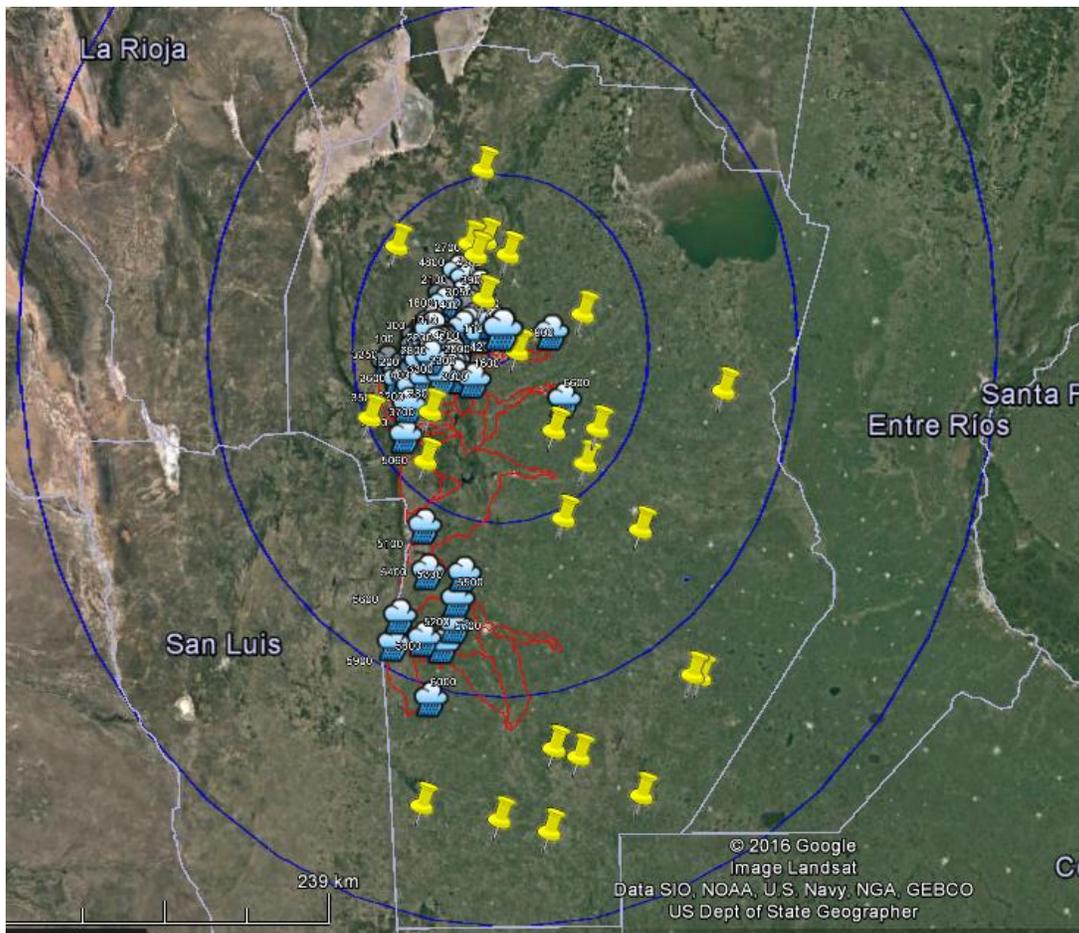


Debido a las intensas lluvias en las sierras, desde las 18.30 de este martes, se interrumpió el tránsito en algunos tramos de la Costanera en de forma preventiva, porque se espera una importante crecida del río Suquía.

Figura 27: Consecuencias de lluvias intensas (09/03/2016)

Fuente: <http://www.cadena3.com/contenido/2016/03/09/Cortes-en-la-Costanera-por-crecida-del-Suquia-159606.asp>

Del relevamiento de estaciones realizado anteriormente, se había determinado que en total hay 229 estaciones en la provincia, de las cuales se sabe con precisión que 135 se encuentran dentro de la cobertura del radar. Para este trabajo ese listado se vió reducido a 86 estaciones, que son las que cumplen con los requisitos necesarios para la calibración del radar. Es decir, son a las que se tuvo acceso a los datos históricos, o sea, a los registros de las tormentas elegidas, ocurridas entre Septiembre de 2015 y Marzo de 2016, y además, se encuentran dentro de los 240 km del radar a partir del cual el aparato meteorológico puede registrar datos de reflectividad (Figura 28).



SIMBOLO	INSTITUCIÓN ADMINISTRADORA
	Secretaría de Recursos Hídricos - Córdoba / CIRSA
	Ministerio de Agricultura y Ganadería

Figura 28: Distribución geográfica de las estaciones de SRH (Cba) – INA/CIRSA – MagyA para el evento del 7 y 8/03/2016

Para el desarrollo del procedimiento, se establecieron una serie de criterios para la realización del trabajo:

- 1) Se tuvo en cuenta un período de tres (3) días centrado en el evento, debido a que en primera instancia no se conocía ni la duración, ni el momento exacto de ocurrencia de la tormenta ni el de su máxima intensidad (Petroli et. al, 2016).
- 2) Se tuvieron en cuenta las estaciones que registraron una precipitación acumulada mayor a 5 mm. Valores menores no proporcionan una magnitud considerable para la comparación con los datos de reflectividad arrojados por el radar.
- 3) Las variables que interesan en el momento son únicamente las de precipitación y dirección y velocidad del viento, puesto que son los más relevantes para la calibración hidrológica del radar.

4.3 PROCEDIMIENTO DE BÚSQUEDA

4.3.1: Superposición de imágenes

Para comenzar el relevamiento de datos de variables meteorológicas, se superpuso el mosaico de reflectividad obtenida por el radar RMA1 (para formar aproximadamente la "mancha" de la tormenta), con el mapa de la red de estaciones ubicadas en superficie (Figura 29).

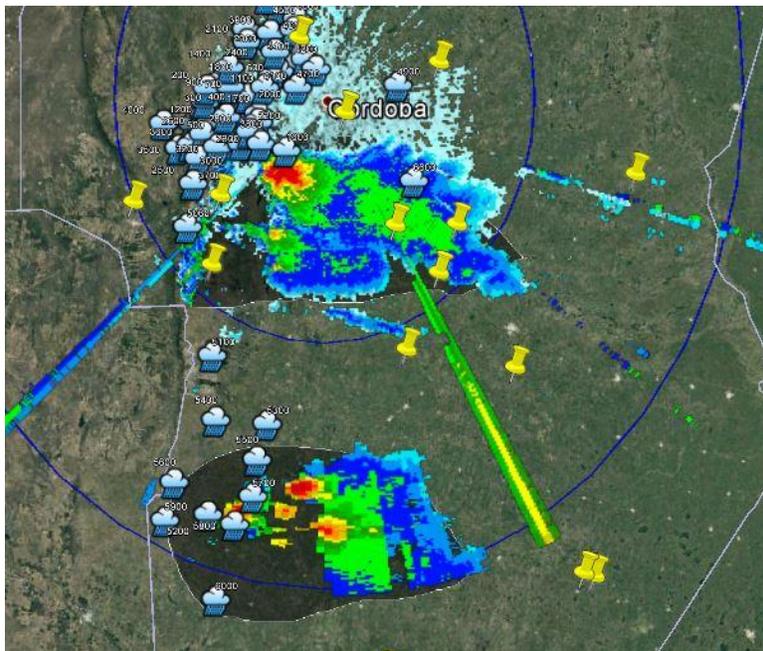


Figura 29: Superposición mosaico de reflectividad y red de estaciones meteorológicas

La imagen de dicha superposición es proporcionada por Ingenieros Informáticos encargados de la operación, manejo de la base de datos de radar y calibración electromagnética del radar RMA1 – Córdoba. Para esto, se observaba el mosaico en imagen COLMAX de la página web del SINARAME (<http://www.sinarame.gob.ar/>) en el período de estudio de 72 hs, es decir del 6 de marzo al 8 de marzo, y se registra el momento en que la tormenta presentaba mayor extensión areal y en segundo lugar mayor intensidad. De esta manera, se solicita la imagen del mosaico superpuesto con la red de estaciones en ese instante determinado en un archivo de extensión jpg.

Se puede observar en la figura la gran intensidad de la tormenta por los colores rojos al suroeste de la Ciudad de Córdoba y al sur de la Provincia, que indican picos de intensidad.

Posteriormente, de esta superposición, se analiza mediante una inspección visual qué estaciones se encuentran involucradas en la tormenta. Como se verá más adelante, casi la totalidad de la red fue afectada en mayor o en menor medida por este evento.

4.3.2: Ingreso a la base de datos y descarga de la información

La información fue obtenida de las bases de datos online del Servicio de información web del Sistema Telemétrico INA-CIRSA-SRH de la Provincia de Córdoba y de Estaciones Meteorológicas de Omixom Ingeniería Electrónica, ingresando en ambos casos con un usuario y una contraseña brindados por los organismos correspondientes. Esta última base de datos, como se advirtió anteriormente, además de datos pluviométricos también proporciona información de los vientos registrados y demás variables meteorológicas.

INA-CIRSA administra un sitio web (Figura 30) en un esfuerzo por mejorar el acceso público a la información meteorológica medida en las estaciones bajo su órbita. Los datos *ALERT* generados en campo, se reciben e ingresan a una base en tiempo real de sensores remotos, y se muestran como información general. Como resultado de este proceso complejo, en ocasiones interferencias externas dan lugar a datos erróneos. Si bien se hace todo lo posible para asegurar la confiabilidad de las mediciones, reportar datos precisos, hay veces en que los factores externos también pueden afectar a la calidad de los datos. Estos factores pueden incluir el vandalismo, colisión de datos, mal funcionamiento del equipo, procedimientos de mantenimientos de rutina inadecuados, pruebas diversas, presencia o actividad de insectos, procesos de calibración en campo, rayos, viento, nieve, granizo, etc. Es por ello que todos los datos deben ser tratados como preliminares, por lo tanto, sujeto a revisión. Por tales motivos el INA – CIRSA no brinda ninguna garantía expresa o implícita, con respecto a la exactitud de los datos que se encuentran en este servidor (<http://dec-info.com.ar/>).

"RELEVAMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA DE MONITOREO METEOROLÓGICO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA
Y DE DATOS PARA LA CALIBRACIÓN HIDROLÓGICA DEL RADAR RMA1"

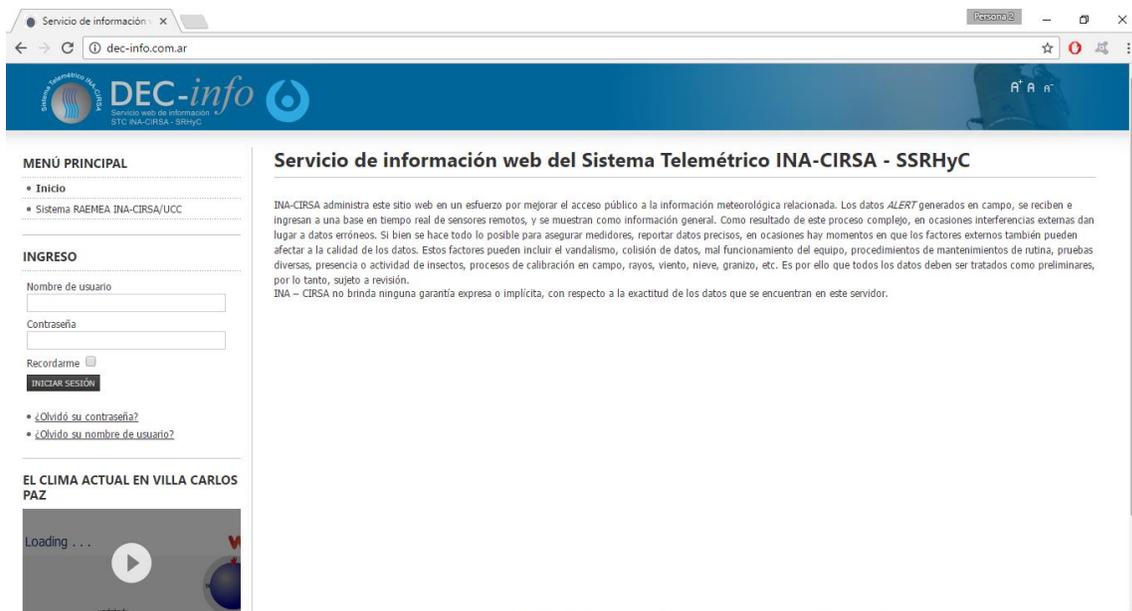


Figura 30: Sitio Web de INA – CIRSA – SRH Córdoba (<http://dec-info.com.ar/>)

Omixom Ingeniería también administra una página web (Figura 31) que brinda la posibilidad de conocer el estado de los parámetros meteorológicos medidos en las estaciones provistas por dicha empresa. La empresa ha desarrollado la tecnología y el software necesarios par brindar información meteorológica (<http://clima.omixom.com/>). De esta página web es de donde se obtienen los datos meteorológicos de las estaciones pertenecientes al Ministerio de Agricultura y Ganadería y la estación “Laboratorio de Hidráulica” de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba.

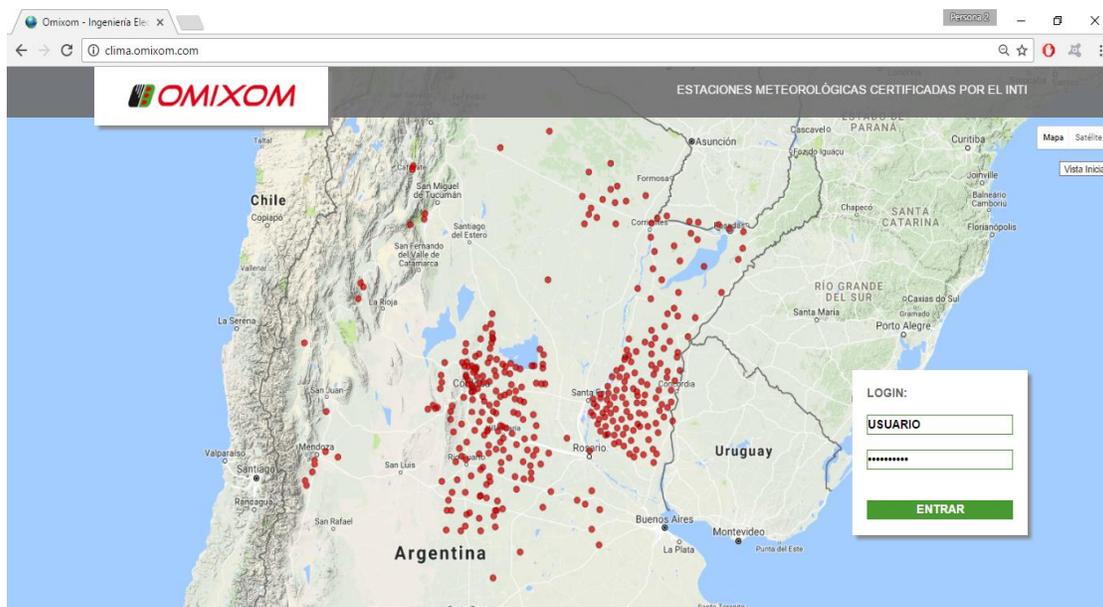


Figura 31: Sitio Web de OMIXOM (<http://clima.omixom.com/>)

4.4 RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO

Una vez ingresado se procede de la siguiente manera:

- **Tecnología ALERT**

Como se dijo anteriormente, éste es el caso de INA / CIRSA y de la SRH de la Provincia de Córdoba. Para poder acceder a los datos se selecciona la pestaña “Menú Data Wise” en el margen izquierdo de la página (Figura 32). Luego, se despliega una lista de opciones de las cuales se debe seleccionar la opción “Sensor Data Display” (Figura 33).



Figura 32: Ingreso a la base de datos dec – info



Figura 33: Ingreso al visualizador de los datos del sensor (dec – info)

Una vez en este lugar, el sistema pedirá que se ingrese la estación del que se desea obtener datos pluviométricos, aquí llamada sensor, el intervalo de tiempo de relevamiento, en horas o en minutos, la fecha y hora en que se termine el mismo, y la cantidad de líneas de datos que se desea obtener (como se quiere obtener la mayor cantidad posible se deja en blanco este campo para que no haya límite en este aspecto, tal como lo aclara al margen de ese casillero) (Figura 34).

The screenshot shows the 'Sensor Data Display Options' page. At the top, there is a 'Reports Menu' link. The main content area includes a 'Sensor ID' input field with the placeholder text 'Enter a Sensor ID or select below'. Below this is a 'Sensors' dropdown menu with the following options: 'Select Sensor', '100 Sto. Tomas P.', '115 Sto. Tomas BV', and '200 Los Gigantes P.'. To the left of the dropdown is a box labeled 'Estación' with an arrow pointing to the dropdown. To the right of the dropdown are two boxes: 'Directamente con el código de identificación' with an arrow pointing to the 'Sensor ID' field, and 'Búsqueda manual de la estación' with an arrow pointing to the dropdown. Below the dropdown is a 'Time Step' field with the value '72' and radio buttons for 'Hours' (selected) and 'Minutes'. Below that is an 'End Date & Time' field with the date '03/08/16' and time '2359'. Below that is a 'Number of Lines' field with the text 'Leave blank for no limit'. At the bottom, there are three options: 'Rating Table Values', 'Raw Data Values', and 'Status Data in Binary Form', each with an unchecked checkbox.

Figura 34: Ingreso datos de estación

En el intervalo de tiempo se coloca las 72hs de análisis, del 6 al 8 de marzo, y en las pestañas de "End Date and Time" se coloca la fecha en formato inglés mm/dd/aaaa y la hora en hhmm en que se desea concluir el relevamiento de datos. Se coloca 2359 al ser el último momento del día. (Figura 35)

Sensor Data Display Options Reports Menu

Sensor ID Enter a Sensor ID or select below

Sensors

Select Sensor
100 Sto. Tomas P.
115 Sto. Tomas BV
200 Los Gigantes P.

Intervalo de tiempo ← **Time Step** 72 Hours Minutes

End Date & Time 03/08/16 2359 → Conclusión de relevamiento

Number of Lines Leave blank for no limit

Options

Rating Table Values
 Raw Data Values
 Status Data in Binary Form

Figura 35: Ingreso de datos temporales

De esta manera al presionar “ENTER” se muestran los datos de precipitación para ese intervalo de tiempo y para esa estación específica (Figura 36).

Close Window

Sensor # 5060 Tres Arboles P. Precipitation_(Accum)

Date	Time	Precipitation_(Accum) mm
03/08/2016	19:06:21	2017 (0.00)
03/08/2016	02:57:20	2017 (1.00)
03/08/2016	01:09:54	2016 (1.00)
03/08/2016	01:06:34	2015 (1.00)
03/08/2016	01:02:49	2014 (1.00)
03/08/2016	00:54:29	2013 (1.00)
03/08/2016	00:47:32	2012 (1.00)
03/08/2016	00:39:27	2011 (1.00)
03/08/2016	00:32:23	2010 (1.00)
03/08/2016	00:26:49	2009 (1.00)
03/08/2016	00:21:11	2008 (1.00)
03/08/2016	00:12:57	2007 (1.00)
03/08/2016	00:07:41	2006 (1.00)
03/08/2016	00:03:10	2005 (1.00)
03/07/2016	23:59:31	2004 (1.00)
03/07/2016	23:55:32	2003 (1.00)
03/07/2016	23:52:01	2002 (1.00)
03/07/2016	23:47:54	2001 (2.00)
03/07/2016	23:38:24	1999 (1.00)
03/07/2016	23:32:48	1998 (1.00)
03/07/2016	23:26:16	1997 (2.00)
03/07/2016	23:15:18	1995 (1.00)

Figura 36: Datos relevados de la estación Tres Arboles

En la figura precedente se muestra una parte de la extensa información relevada de la estación Tres Arboles de la Secretaría de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba. En el Anexo II: "Relevamiento de tormentas" se muestran los datos relevados para la tormenta del 7 y 8 de marzo de 2016. Por razones de extensión en el informe impreso se exhiben los datos de tres estaciones representativas de tres regiones topográficas diferentes: alta montaña, piedemonte y llanura (Respectivamente: Tres Arboles, Las Junturas Cosquin y Pampa del Gato). En el CD que acompaña este Informe se detalla la totalidad de estaciones con datos registrados para ese evento.

Esta tecnología tiene una frecuencia de medición por cangilones. Esto quiere decir que por cada milímetro que capta el pluviómetro, se registra el tiempo en que esta elevación ocurre.

Para un mejor análisis de los datos, se volcaron los mismos en una planilla Excel que se muestra y explica a continuación (Tabla 10).

Tabla 10: Datos relevados de la estación Tres Arboles – SRH de la Pcia de Córdoba

Tres Arboles 5060						
Fecha	Hora (CBA)	Marca	Hora (UTC)	Hora (n°)	Precipitación (mm)	Precipitación Acumulada (mm)
03/08/2016	19:06:21	2017	19:06:21	2,80	0	144
03/08/2016	2:57:20	2017	2:57:20	2,12	1	144
03/08/2016	1:09:54	2016	1:09:54	2,05	1	143
03/08/2016	1:06:34	2015	1:06:34	2,05	1	142
03/08/2016	1:02:49	2014	1:02:49	2,04	1	141
03/08/2016	0:54:29	2013	0:54:29	2,04	1	140
03/08/2016	0:47:32	2012	0:47:32	2,03	1	139
03/08/2016	0:39:27	2011	0:39:27	2,03	1	138
03/08/2016	0:32:23	2010	0:32:23	2,02	1	137
03/08/2016	0:26:49	2009	0:26:49	2,02	1	136
03/08/2016	0:21:11	2008	0:21:11	2,01	1	135
03/08/2016	0:12:57	2007	0:12:57	2,01	1	134

La primera, segunda, tercera y sexta columna son precisamente la manera en que se releva la información de la base de datos de los sistemas ALERT, en las cuales se tiene la fecha (primera columna) y hora (segunda columna) en que se registran los datos, la marca que registró el pluviómetro (tercera columna) y la precipitación en mm (sexta columna) que como se explicó registran valores de 0 y 1 en su funcionamiento normal.

La cuarta columna, denominada Hora (UTC) hace referencia a la necesidad de compatibilizar los datos del Radar (que vienen en horario UTC) con los de las estaciones

(que vienen con la hora de Argentina). Fue necesario plantear un horario común a ambas fuentes de medición, optándose por expresarlo en Hora UTC (Tiempo Universal Coordinado).

A esto se le agregó una quinta columna, Hora (n°) con el único fin de hacer más sencilla la construcción de los hietogramas que se desarrollarán más adelante.

En la última columna se adicionan todas las precipitaciones registradas con el propósito de obtener la precipitación acumulada que se obtuvo en el intervalo de tiempo considerado.

A partir de estos valores se plantea los correspondientes hietogramas y gráficos de precipitaciones acumuladas. En la Figura 37 se muestra el caso de la estación anterior.

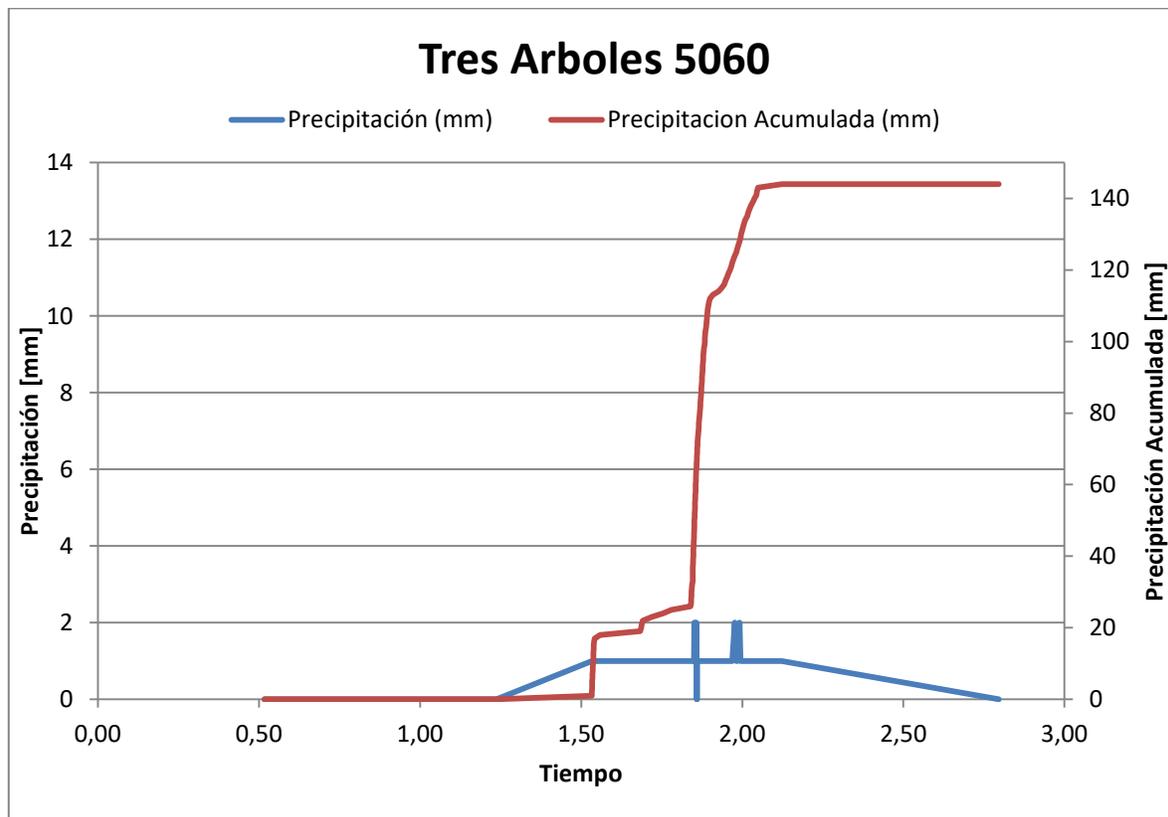


Figura 37: Hietograma de la estación Tres Arboles

El hietograma se lo realizó en este formato de línea continua y no de barras para poder superponerlo con el gráfico de precipitación acumulada y así poder realizar un mejor análisis del evento considerado.

- **Tecnología OMIXOM**

Similarmente al caso anterior, se ingresa a la base de datos de las estaciones que utilizan tecnología OMIXOM a través de la página web del mismo con el usuario y contraseña correspondientes. Este es el caso solamente de las estaciones del Ministerio de Agricultura y Ganadería, ya que la estación del Laboratorio de Hidráulica, aunque utilice la misma tecnología, no se encontraba instalada en el momento que se realizó este análisis.

Accediendo a la base, primeramente se debe seleccionar la estación en que se desea descargar datos (Figura 38). A modo de ejemplo, se muestra la estación de Río Grande – Capilla del Carmen.



Figura 38: Panel de control principal de la base de datos del sistema OMIXOM

Seleccionada la estación, se busca entre las pestañas del margen superior la denominada “Gráficos” (Figura 39).



Figura 39: Ingreso a la pestaña “Gráficos” para la descarga de datos

Ingresando en esta pestaña, se coloca la forma en que se desea obtener los datos pudiendo ser “diario” o “entre fechas”, el intervalo de tiempo en que se desea obtener la información en caso de solicitarlo “entre fechas” y el formato en que se necesita descargar los datos. En este caso se seleccionó entre el 6 y el 8 de marzo y en formato “.XLS” para luego seleccionar “Exportar a Tabla” (Figura 40).



Figura 40: Datos a ingresar para exportar información en sistema OMIXOM

Una vez exportados los datos, se descargan en un archivo Excel (Tabla 11). La misma se la modificó con el fin de poder tener una mejor visualización de los datos (Tabla 12) y compatibilizar las horas de estos datos con las obtenidas por el radar.

Tabla 11: Información exportada de las estaciones con tecnología OMIXOM

Numero	Estacion	ID Localidad	Fecha	Temperatura [°C]	Humedad [%HR]	Punto de Rocío [°C]	Precipitación [mm]	Velocidad Viento [Km/h]	Dirección Viento	Ráfaga Máxima [Km/h]	Presión [hPa]	Radiación Solar [W/m2]
30114	Rio Grande Capilla del Carmen - E02	0	06/03/2016 0:00	12.8	82.3	9.9	0.0	4.8	NOR NOROESTE	8.3	876.2	--
30114	Rio Grande Capilla del Carmen - E02	0	06/03/2016 0:10	12.8	82.0	9.8	0.0	6.2	NOR NOROESTE	9.8	876.9	--
30114	Rio Grande Capilla del Carmen - E02	0	06/03/2016 0:20	12.8	81.4	9.7	0.0	6.9	NOR NOROESTE	10.3	876.2	--
30114	Rio Grande Capilla del Carmen - E02	0	06/03/2016 0:30	12.8	80.6	9.6	0.0	7.0	NOR NOROESTE	11.2	874.4	--
30114	Rio Grande Capilla del Carmen - E02	0	06/03/2016 0:40	12.8	79.6	9.4	0.0	6.9	NOR NOROESTE	10.8	876.9	--
30114	Rio Grande Capilla del Carmen - E02	0	06/03/2016 0:50	12.9	78.7	9.3	0.0	6.4	NOR NOROESTE	9.7	874.4	--

Tabla 12: Datos relevados de la estación Río Grande – Capilla del Carmen – Ministerio de Agricultura y Ganadería

Número	Estación	Fecha	Hora (UTC)	Precipitación [mm]	Precipitación Acumulada[m m]	Temperatura [°C]	Humedad [%HR]	Punto de Rocío [°C]	Velocidad Viento [Km/h]	Dirección Viento	Ráfaga Máxima [Km/h]	Presión [hPa]
30114	Río Grande Capilla del Carmen - E02	07/03/2016 13:10	07/03/2016 16:10	0	0	17.5	79.8	14	10.6	NORESTE	19.3	874.4
30114	Río Grande Capilla del Carmen - E02	07/03/2016 13:20	07/03/2016 16:20	0,4	0,4	17.1	84.0	14.4	11.3	NORTE	16.9	873.8
30114	Río Grande Capilla del Carmen - E02	07/03/2016 13:30	07/03/2016 16:30	1,6	2	16.7	85.5	14.3	4.4	NORTE	12.7	873.1
30114	Río Grande Capilla del Carmen - E02	07/03/2016 13:40	07/03/2016 16:40	1,2	3,2	15.8	84.0	13.1	7.5	OESTE	18.3	873.1
30114	Río Grande Capilla del Carmen - E02	07/03/2016 13:50	07/03/2016 16:50	0,2	3,4	15.5	86.4	13.2	5.4	OESTE SUDOESTE	10.7	871.9

Esta tecnología, al contrario de los casos ALERT, mantiene un intervalo de tiempo constante de 10 minutos para luego registrar y almacenar la cantidad de agua precipitada.

Al igual que en el caso anterior, a partir de estos valores se plantean los correspondientes hietogramas y gráfico de precipitaciones acumuladas. Se muestra el caso de la estación anterior (Figura 41).

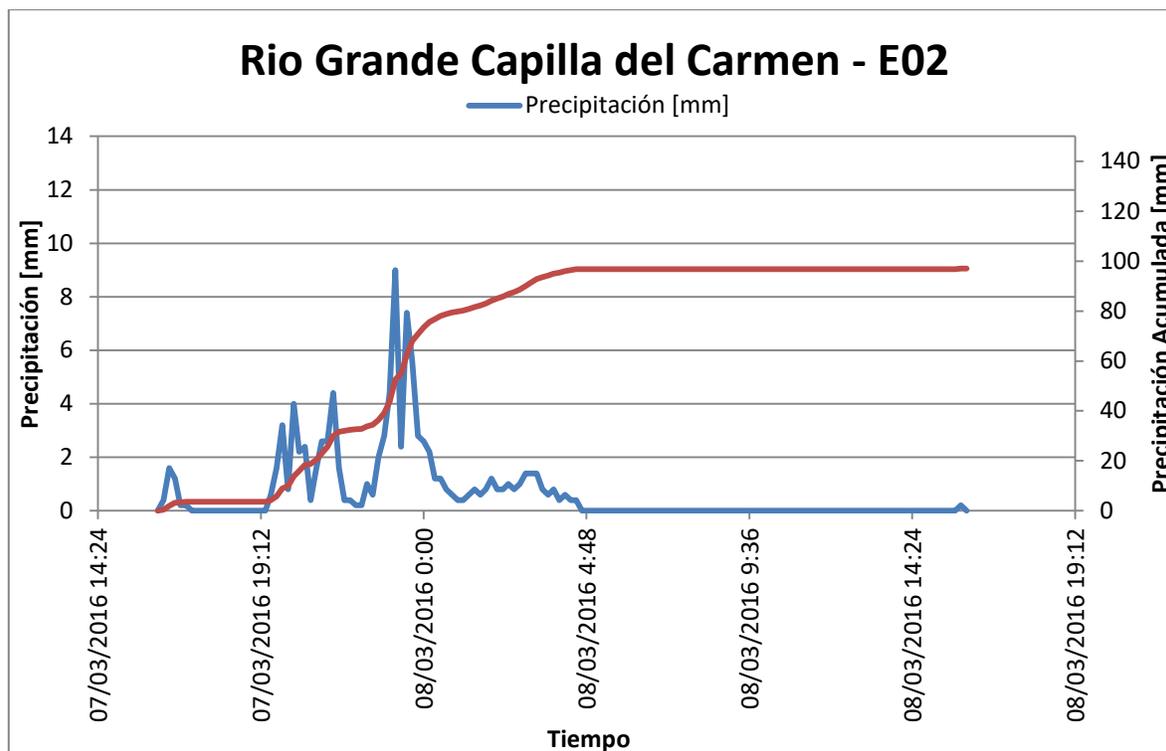


Figura 41: Hietograma de la estación Río Grande – Capilla del Carmen

En este caso de estaciones meteorológicas con tecnología OMIXOM, se obtienen además de precipitación, datos de dirección y magnitud de la velocidad del viento.

Como se ha explicado en capítulos anteriores, esto merece un análisis en paralelo para una efectiva correlación de datos de lluvia y reflectividad.

Se han elaborado de esta manera, tres distintos gráficos en relación a la variable viento, con el propósito de intentar analizar, comprender y modelar su influencia en la caída de las gotas de lluvia.

El primer gráfico (Figura 42) muestra la superposición de la magnitud de la velocidad promedio en el intervalo de 10 minutos, la ráfaga máxima que se produjo en ese intervalo y la dirección del viento en función del tiempo.

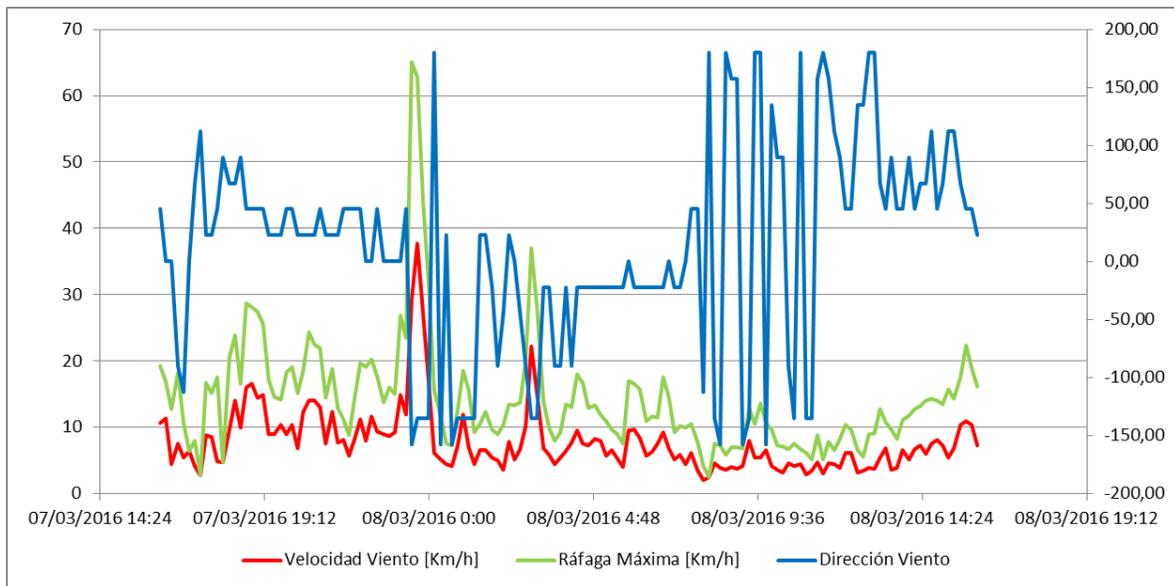


Figura 42: Velocidad, ráfaga máxima y dirección del viento en función del tiempo

En el segundo gráfico se optó por transformar los datos a coordenadas polares (Tabla 13) y de esta manera graficar la magnitud de la velocidad y la dirección (

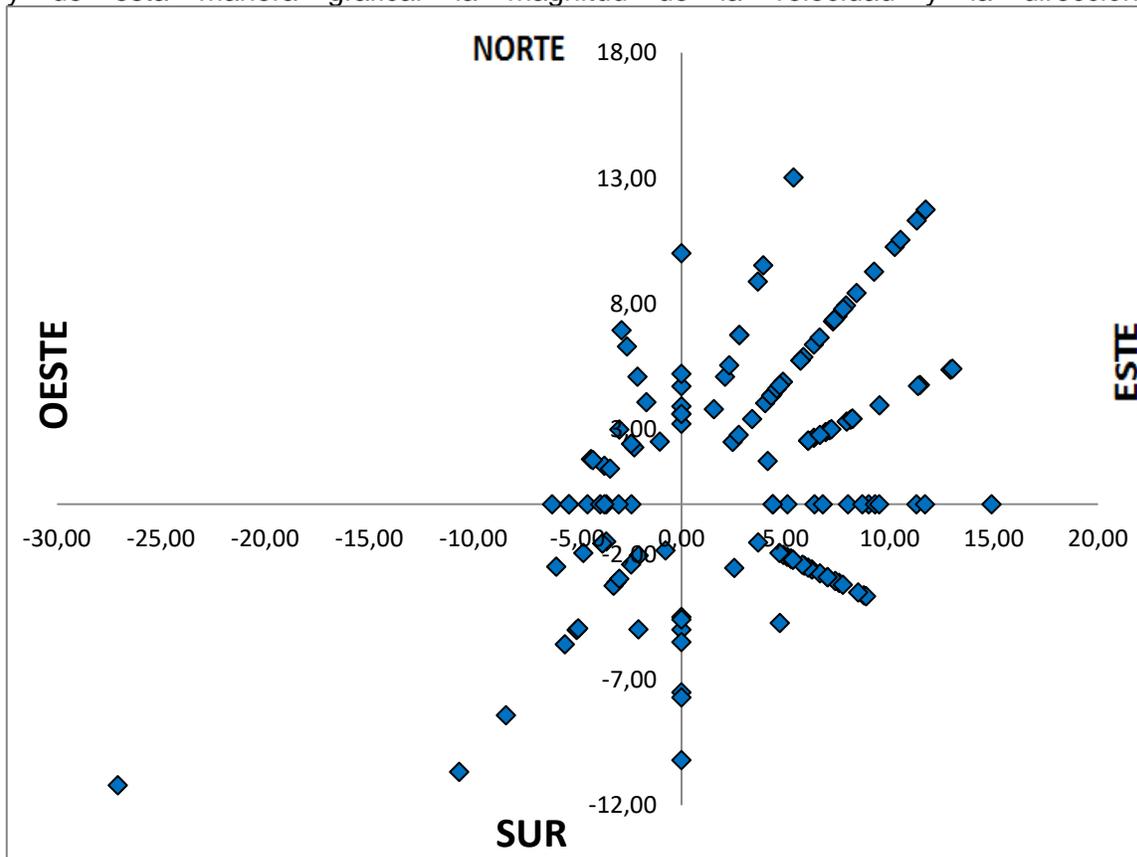


Figura 43). Se puede observar con mayor claridad usando esta esquematización cuáles son las direcciones predominantes, tanto en cantidad de datos (lo que significa mayor predominancia en esa dirección), como en velocidades mayores, al ver que tan alejado se encuentran los puntos del punto de origen.

Tabla 13: Transformación a coordenadas polares

Dirección Viento	Dirección Viento (grados)	Velocidad Viento [Km/h]	Angulo (rad)	Vx	Vy
NORESTE	45,00	10,6	0,78539816	7,50	7,50
NORTE	0,00	11,3	0	11,30	0,00
NORTE	0,00	4,4	0	4,40	0,00
OESTE	-90,00	7,5	- 1,57079633	0,00	-7,50
OESTE SUDESTE	-112,50	5,4	- 1,96349541	-2,07	-4,99
NORTE	0,00	6,4	0	6,40	0,00
ESTE NORESTE	67,50	4,1	1,17809725	1,57	3,79
ESTE SUDESTE	112,50	2,7	1,96349541	-1,03	2,49
NOR NORESTE	22,50	8,8	0,39269908	8,13	3,37
NOR NORESTE	22,50	8,6	0,39269908	7,95	3,29
NORESTE	45,00	4,8	0,78539816	3,39	3,39
ESTE	90,00	4,7	1,57079633	0,00	4,70
ESTE NORESTE	67,50	9,6	1,17809725	3,67	8,87
ESTE NORESTE	67,50	14,1	1,17809725	5,40	13,03
ESTE	90,00	10	1,57079633	0,00	10,00
NORESTE	45,00	16	0,78539816	11,31	11,31

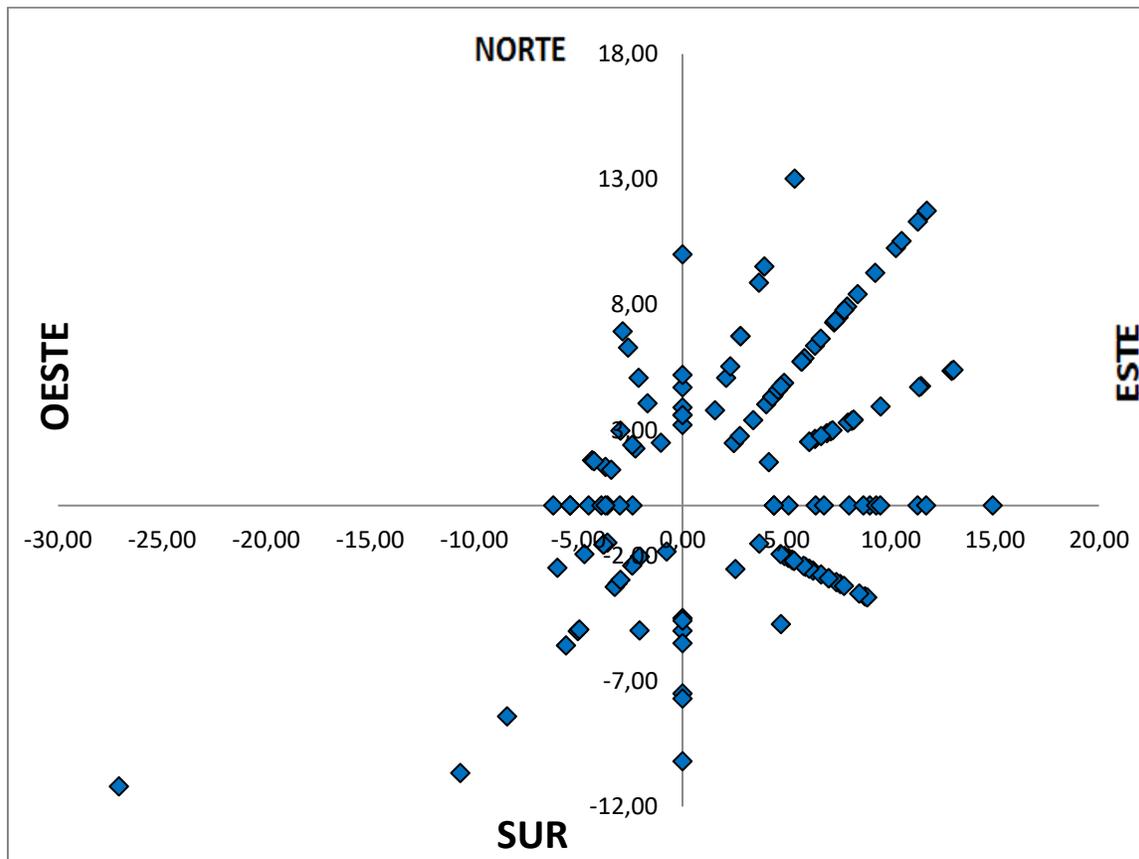


Figura 43: Viento en coordenadas polares de la estación Río Grande

Por último en lo que respecta al análisis del viento, se muestra un gráfico vectorial (Figura 44) que se observa la evolución temporal del mismo representando la intensidad y dirección por medio de vectores con la ayuda del software matemático MATLAB, para lo cual fue necesario calcular previamente las coordenadas cartesianas del vector viento, al igual que en el gráfico anterior.

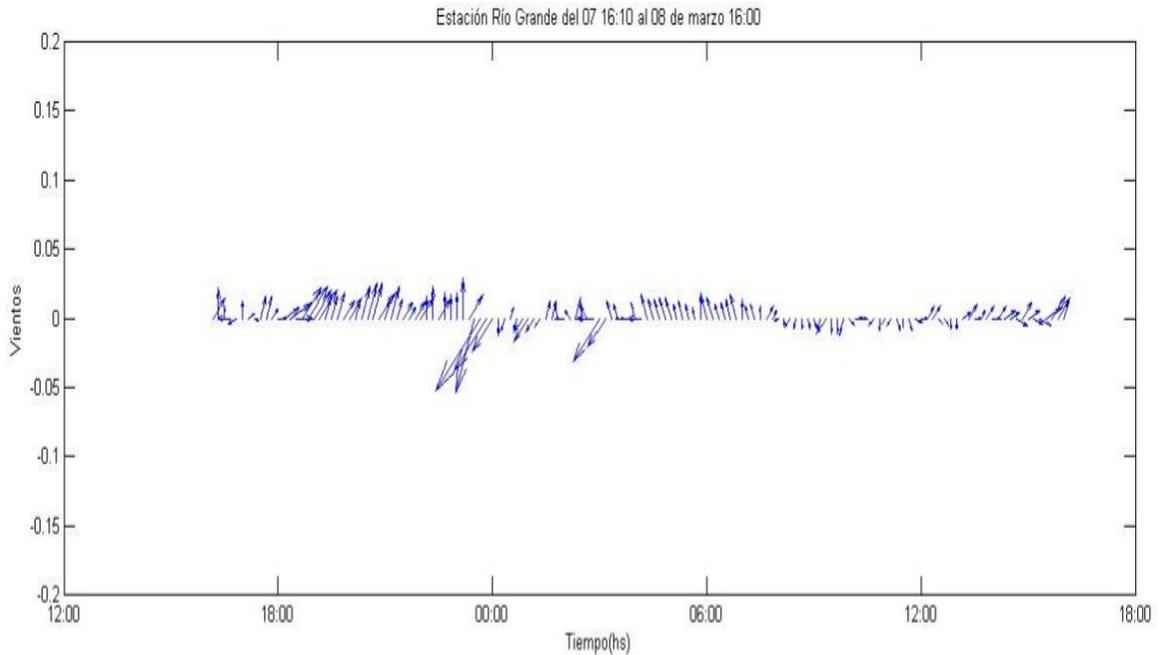


Figura 44: Diagrama vectorial de vientos – Estación Río Grande – Capilla del Carmen

Para concluir este capítulo, se muestra un diagrama de barras que grafica las precipitaciones acumuladas que se registraron de esta tormenta en las estaciones meteorológicas de la Provincia de Córdoba y fueron captadas simultáneamente por el radar RMA1 (Figura 45). Se muestra además un esquema mediante un archivo “.kmz” del Google Earth donde muestra la precipitación acumulada en cada estación meteorológica de la Provincia (Figura 46).

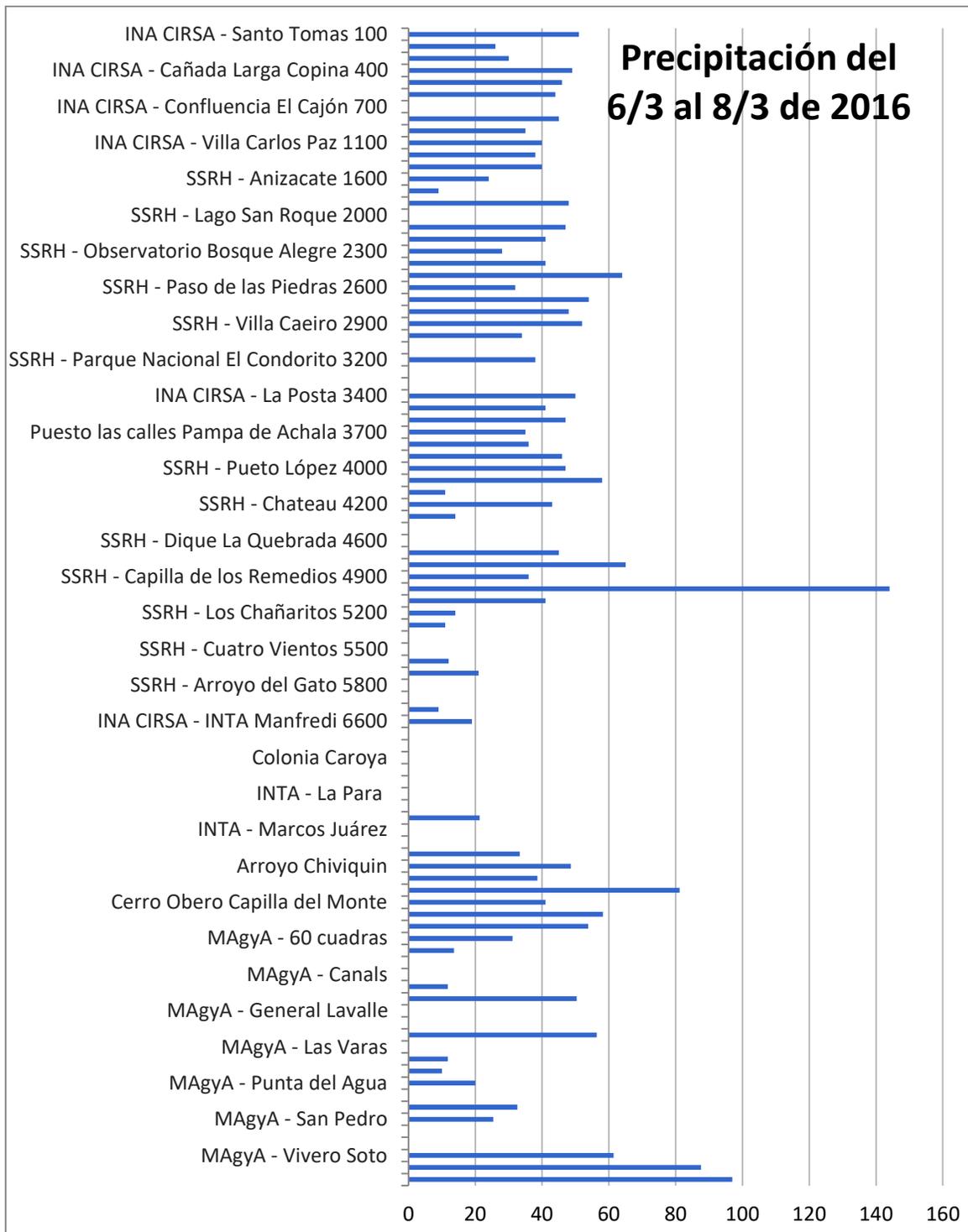


Figura 45: Precipitaciones acumuladas de la tormenta del 6 al 8 de marzo de 2016

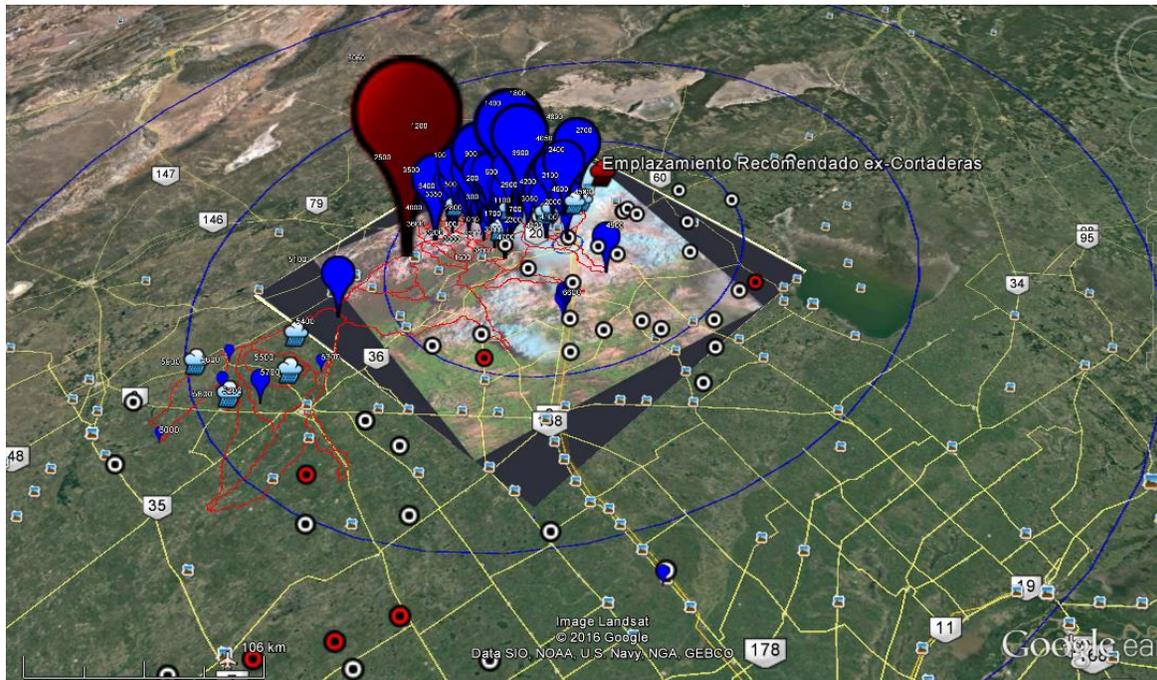


Figura 46: Vista en Google Earth de la precipitación acumulada en cada estación meteorológica – Tormenta del 6 al 8 de marzo de 2016

En la siguiente tabla se resume para los eventos monitoreados simultáneamente por el radar RMA1 y las estaciones meteorológicas de superficie la fecha analizada, la cantidad de estaciones involucradas y la precipitación acumulada (para el evento) máxima registrada y la estación donde se registró la misma. Se ve en el caso analizado, la tormenta del 7 de marzo, la gran cantidad de agua precipitada acumulada en los 3 días de análisis.

Tabla 14: Resumen de eventos relevados

Tormenta Fecha	Cantidad de Estaciones involucradas	Maxima Precipitacion en los tres días	Estacion con Precip. Max
8-sep-2015	16	37	Los Chañaritos (SRH 5200)
4-nov-2015	48	202	Tres arboles (SRH 5060)
7-nov-2015	19	65	Anizacate (SRH 1600)
10-nov-2015	67	83	Pueto Garay (INA CIRSA 900)
17-nov-2015	67	95	Santo Tomas (INA CIRSA 100)
15-feb-2016	39	60	La Posta (INA CIRSA 3400)
23-feb-2016	54	116	COSAG (SRH 3800)
24-feb-2016			COSAG (SRH 3800)
29-feb-2016	25	88	COSAG (SRH 3800)
7-mar-2016	68	144	Tres arboles(SRH 5060)

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1: Respecto al relevamiento de estaciones

Analizando el total de estaciones meteorológicas y la información que estas proveen, se puede concluir que de la totalidad de 229 se reducen en un valor considerable de 86 estaciones que brindan datos que permiten la calibración del radar, por los motivos explicados anteriormente.

Estas estaciones son las pertenecientes a la Secretaría de Recursos Hídricos de la Nación (40 estaciones), del Instituto Nacional del Agua / Centro de la Región Semiárida (19) y del Ministerio de Agricultura y Ganadería (27).

Por otro lado, de estas 86 estaciones, 9 de ellas no se encuentran en el área de cobertura del radar en que se obtienen datos de reflectividad, sino que se encuentran en la franja de modo de vigilancia, por lo que no nos sirven para el relevamiento.

Se puede observar en el esquema de la totalidad de estaciones meteorológicas lo extensa que es esta red y como cubre casi en forma completa la Provincia de Córdoba.

De esta gran extensión se puede ver observar una concentración predominante en la zona de las sierras. Situación lógica debido a influencia de las mismas en la formación de las nubes con precipitaciones (lluvia orográfica). Además, por ser la zona donde se encuentran las mayores altitudes.

5.1.1: Respecto al relevamiento de tormentas

Un método de inspección visual puede reemplazarse por un algoritmo que compare las coordenadas de reflectividad arrojada por el radar con las de las estaciones meteorológicas, con el fin de mejorar y agilizar el proceso de comparación.

Como cada organismo proporciona los datos de lluvia para intervalos de tiempo muy diferentes, es necesario realizar para cada evento el procesamiento necesario para representar los datos en intervalos iguales, lo que facilita su análisis y la identificación de estaciones con precipitaciones muy bajas que no resultan de utilidad para este tipo de estudio.

Como recomendación se puede realizar una base de datos integrada en donde el acceso a los mismos sean públicos, gratuitos y que estén almacenados en un lugar confiable. No solo de precipitaciones, sino de cualquier variable hidro – meteorológica (caudales, alturas, temperaturas, vientos, etc.). Esto último también podría realizarse en dos tipos distintos de bases: una base de datos histórica y una base de datos a tiempo real.

El sistema por cangilones en ocasiones marca una precipitación mayor a 1mm. Lo cual anuncia dos posibles situaciones: o la lluvia es tan intensa en ese momento que los cangilones no llegan a hacer el movimiento para el registro del tiempo en que se produce esa precipitación, o bien, hay un error en la medición. Por lo tanto, se debe realizar un análisis de consistencia de los datos, materia pendiente al conocer métodos que implican un intervalo de tiempo a largo plazo.

El gráfico de precipitación acumulada de la estación Tres Arboles anuncia una elevada pendiente entre aproximadamente las 13:00 hs del día 7 de marzo y las 00:00 hs del día 8 de marzo, lo que indica una gran intensidad de precipitación en ese intervalo. Mientras que el gráfico de precipitación acumulada de la estación Río Grande conserva una pendiente más suave, por lo que la lluvia fue menos intensa.

De esto último se desprende que la calibración hidrológica puede tener en cuenta distintos tipos de tormentas (convectivas o estratiformes), ya que pueden llegar a cambiar los coeficientes en la ecuación fundamental del radar $Z = A R^b$ dependiendo la intensidad de la tormenta.

En cuanto a vientos, el primer gráfico donde se superponen curvas de velocidad y dirección en función del tiempo no provee información relevante para un análisis de utilidad.

El segundo gráfico de vientos, solo da pautas de cual fue la dirección con mayor predominancia en los tres días de análisis, pero a la hora de definir su influencia en la caída de las gotas de agua tampoco es de gran utilidad.

El tercer gráfico, el viento representado por vectores, puede resultar útil en el momento de hacer un análisis de consistencia de los datos de viento, observando si hay cambios bruscos en su dirección.

Una representación de las precipitaciones acumuladas en cada estación como el expuesto en el google earth, da una idea de la evolución espacial que tuvo la tormenta. Puede resultar interesante al compararlo con la evolución espacial y temporal de las mediciones que realiza el radar con la reflectividad.

5.2 CONCLUSIONES PERSONALES

Las imágenes de las reseñas históricas dan conciencia de la gran necesidad de procesar y adquirir pronósticos y sistemas de alerta temprana, y la implementación de medidas de mitigación.

La Provincia de Córdoba cuenta con una inmensa infraestructura disponible para obtener el primer radar meteorológico calibrado del País.

En cuanto a la adquisición de los datos se debe remarcar la necesidad de poseer una base de datos integrada para que en el futuro se faciliten trabajos de todo tipo que requieran de los mismos, lo que se traduce en ahorros de dinero y fundamentalmente de tiempo.

Este trabajo marca los primeros pasos para una actividad pionera en el País, la calibración del radar. Convirtiéndolo en un gran e interesante desafío que requiere de un recurso humano altamente interdisciplinario del cual es un enorme agrado ser partícipe.

Las tareas realizadas para la elaboración de esta labor permitió desarrollar una experiencia de trabajo en equipo y una interacción permanente con un grupo de grandes profesionales e investigadores con enorme dedicación y compromiso.

Esta experiencia permitió recordar, afianzar y aplicar una gran cantidad de conocimientos adquiridos en distintas materias cursadas a lo largo de la carrera, en un ámbito en el cual todos los profesionales presentes aportaron su enorme experiencia y voluntad en el crecimiento del alumno.

BIBLIOGRAFÍA

Bertoni, Juan Carlos - Caranti, Giorgio - Catalini, Carlos⁴ - Cioccale, Marcela¹ - Comes, Raúl - Furbatto, Celina - Ingaramo, Ricardo - Martina, Agustín - Menajovsky, Sergio - Poffo, Denis - Rodríguez, Andrés - Saffe, Jorge¹ - Smrekar, Marcelo - Vicario, Leticia - Villa Uría, Alberto (2015) - *Puesta en marcha del Primer Radar Meteorológico Argentino RMA1 en la Univ. Nacional de Córdoba, XXV Congreso Nacional del Agua, Paraná, Arg.*

Comes, Raúl - Ingaramo, Ricardo - Poffo, Denis - Furbatto, Celina - Saffe, Jorge - Vicario, Leticia - Dasso, Clarita - Rodríguez, Andrés - Bertoni, Juan Carlos - Caranti, Giorgio - Catalini, Carlos - Martina, Agustín - Menajovsky, Sergio - Montamat, Ignacio - Rico, Andrea - Rodríguez González, Santiago- Serra, Juan - Villa Uría, Alberto (2016) - *EMPLEO DEL RADAR METEOROLÓGICO ARGENTINO RMA1 PARA LA DETECCIÓN DE UN EVENTO SEVERO, XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, Lima, Perú.*

Mijares Aparicio, Francisco Javier (1999) – *Fundamentos de hidrología de superficie*. Primera Edición. Editorial Limusa.

Pardo Gómez, Rafael – Martínez Rodriguez, José B. (2010) - *El empleo del radar meteorológico en los sistemas de alerta temprana para la predicción de inundaciones*

Petroli, Gastón Hernan - García, Mariano Enrique - Masin, Federico Rafael - Corral, Mariano - Ingaramo, Ricardo - Villa Uria, Alberto - Rodríguez, Andrés (2016) *Análisis de tormentas medidas en superficie para la calibración hidrológica del Radar Meteorológico Argentino RMA1 – Córdoba, 3er Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.*

Proyecto Pict (2015) - *Desarrollo de un Sistema Integrado de Monitoreo Hidro-Meteo-Ambiental para Pronóstico y Alerta en la Región Central de Argentina ante la Variabilidad Climática.*

Rodriguez, A. - Ciappesoni, H. (2011) – “Red Nacional de Radares Meteorológicos” *Rev. Hydria, Agosto, Año 7, Nro. 36, pg. 18-21, ISSN 1669-5119, Buenos Aires, Argentina.*

Rodriguez Andrés - Ingaramo Ricardo - Caranti G - Comes Raúl - Bertoni Juan Carlos - Martina Agustín – Saffe, Jorge -Montamat Ignacio - Poffo Denis - Rodriguez Gonzalez, Santiago - Furbatto Celina - Petroli Gastón - Sonna P.- Díaz Erica - VillaUría Alberto - Herrero Horacio - Tarrab Leticia (2016) - *Integración de sensores hidrometeorológicos para monitoreo y alerta en la región centro de Argentina, V Taller sobre Diseño Hidrológico, Salta, Argentina.*

Saulo C. y Rodriguez A. (2015) “Los avances en la información hidrometeorológica” *Rev. Hydria, Año 11, Nro. 54, pg. 32-35, ISSN 1669-5119, Buenos Aires, Argentina.*

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Radar Meteorológico Argentino RMA0 – Bariloche, Río Negro	9
Figura 2: Red de sistema de radares de Argentina	9
Figura 3: Radar Meteorológico Argentino RMA1 – Córdoba	10
Figura 4: Radio de cobertura potencial del RMA1, según modo de operación	10
Figura 5: Radio de cobertura del RMA1 y estaciones pluviométricas de la provincia	12
Figura 6: Intersección entre radar de Córdoba y Paraná	12
Figura 7: Laboratorio de Hidráulica – Universidad Nacional de Córdoba	15
Figura 8: Red de estaciones del INTA	18
Figura 9: Red de estaciones de la SSRH de la Nación	22
Figura 10: Red de estaciones del SMN	23
Figura 11: Red de estaciones automáticas del SMN	24
Figura 12: Red de estaciones de la bolsa de cereales de Córdoba	26
Figura 13: Estación meteorológica del Laboratorio de Hidráulica (UNC)	27
Figura 14: Tipos de pluviómetros	28
Figura 15: Pluviógrafo	28
Figura 16: Influencia del viento en la medición de precipitaciones	30
Figura 17: El ciclo hidrológico	31
Figura 18: Esquema de funcionamiento del radar – Fuente: Pardo y Martínez (2010)	34
Figura 19: Barrido del radar – Fuente: Pardo y Martínez (2010)	35
Figura 20: Emplazamiento de la estación meteorológica del laboratorio de hidráulica	41
Figura 21: Unidad evaporimétrica del laboratorio de hidráulica	42
Figura 22: Pluviómetro de alta frecuencia	43
Figura 23: Pluviómetro tipo B, al lado de pluviómetro de alta frecuencia	43
Figura 24: Estación meteorológica china del laboratorio de hidráulica	44
Figura 25: Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas	48
Figura 26: Consecuencias de lluvias intensas (09/03/2016)	50
Figura 27: Consecuencias de lluvias intensas (09/03/2016)	50
Figura 28: Distribución geográfica de las estaciones de SRH (Cba) – INA/CIRSA – MagyA para el evento del 7 y 8/03/2016	51
Figura 29: Superposición mosaico de reflectividad y red de estaciones meteorológicas	52
Figura 30: Sitio Web de INA – CIRSA – SRH Córdoba (http://dec-info.com.ar/)	54
Figura 31: Sitio Web de OMIXOM (http://clima.omixom.com/)	54
Figura 32: Ingreso a la base de datos dec – info	55

Figura 33: Ingreso al visualizador de los datos del sensor (dec – info)	55
Figura 34: Ingreso datos de estación	56
Figura 35: Ingreso de datos temporales	57
Figura 36: Datos relevados de la estación Tres Arboles	57
Figura 37: Hietograma de la estación Tres Arboles	59
Figura 38: Panel de control principal de la base de datos del sistema OMIXOM	60
Figura 39: Ingreso a la pestaña “Gráficos” para la descarga de datos	60
Figura 40: Datos a ingresar para exportar información en sistema OMIXOM	61
Figura 41: Hietograma de la estación Río Grande – Capilla del Carmen	64
Figura 42: Velocidad, ráfaga máxima y dirección del viento en función del tiempo .	65
Figura 43: Viento en coordenadas polares de la estación Río Grande	67
Figura 44: Diagrama vectorial de vientos – Estación Río Grande – Capilla del Carmen	68
Figura 45: Precipitaciones acumuladas de la tormenta del 6 al 8 de marzo de 2016	69
Figura 46: Vista en Google Earth de la precipitación acumulada en cada estación meteorológica – Tormenta del 6 al 8 de marzo de 2016	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lista de tormentas medidas por el radar.....	33
Tabla 2: Relación entre longitud de onda, banda y frecuencia – Fuente: Pardo y Martínez 2010.....	35
Tabla 3: Ecuaciones Z – R – Fuente: Pardo y Martinez (2010).....	38
Tabla 4: Estaciones por organismos.....	44
Tabla 5: Estaciones por operación del radar.....	45
Tabla 6: Estaciones por variables medidas.....	45
Tabla 7: Estaciones por tecnología empleada.....	46
Tabla 8: Estaciones por sistema de medición.....	46
Tabla 9: Estaciones por frecuencia de medición.....	47
Tabla 10: Datos relevados de la estación Tres Arboles – SRH de la Pcia de Córdoba	58
Tabla 11: Información exportada de las estaciones con tecnología OMIXOM.....	62
Tabla 12: Datos relevados de la estación Río Grande – Capilla del Carmen – Ministerio de Agricultura y Ganadería.....	63
Tabla 13: Transformación a coordenadas polares.....	66
Tabla 14: Resumen de eventos relevados.....	70