

**ESTADO DEL ARTE EN LAS METODOLOGÍAS DE SATELITES Y/O RADARES
METEOROLOGICOS COMO HERRAMIENTA PARA LA PREDICION DE
INUNDACIONES EN CUENCAS NO AFORADAS.**

**LUCIA NATHALIA LIZCANO GÓMEZ
YULY SADIETH PAREJA AHUMADA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

**ESTADO DEL ARTE EN LAS METODOLOGÍAS DE SATÉLITES Y/O RADARES
METEOROLÓGICOS COMO HERRAMIENTA PARA LA PREDICCIÓN DE
INUNDACIONES EN CUENCAS NO AFORADAS.**

**LUCIA NATHALIA LIZCANO GÓMEZ
YULY SADIETH PAREJA AHUMADA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Director
WALTER ANTOLINEZ QUIJANO
Magister en Ingeniería Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS CIVIL
BUCARAMANGA
2016**

DEDICATORIA

A Dios y el Divino niño Jesús de Praga, un apoyo incondicional que he tenido toda mi vida.

A mi madre Vilma Lucía Gómez, quien con su sacrificio día tras día me ha enseñado como seguir adelante y lograr materializar este sueño. Gracias por todo su apoyo, paciencia y comprensión.

A mi abuela Lilia Castillo de Gómez, cariñosamente Lila, motor que me impulsa a trabajar duro día con día. Gracias por su amor, por cuidarme y enseñarme hasta las cosas más simples de la vida, y por conducirme por el camino del bien y la Fe en Dios.

A mi abuelo Hernando Gómez Plata, un hombre correcto que me educó como si fuera una más de sus hijas y conocí en él el verdadero amor de un padre. Gracias por su sacrificio y amor, hoy soy una persona correcta.

A mis hermanos, espero ser un ejemplo a seguir y podrán contar conmigo así como yo podré contar con ustedes.

A mi mejor amiga y hermana que la vida me permitió elegir Ana Paula Flórez. Gracias por tantos años de amistad, enseñanzas y experiencias compartidas, por apoyarme en una etapa más de mi vida.

A mis tías, tíos y primas, quienes siempre creyeron en este gran proceso y me brindaron un gran apoyo para cumplir esta meta y materializar este gran sueño. Dios los bendiga a todos ustedes.

A un ángel que tenemos en el cielo Samuel y su hermosa hermanita Salomé, que con su presencia nos ha llenado de alegría y mucho amor. Gracias Erick y Laura por ese par de ángeles, y por su apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros de estudio. Gracias por su apoyo, acompañamiento y recomendaciones.

A la señora Marleny Laiton una segunda madre y su hijo, dos personas especiales que Dios puso en mi camino para guiarme en este gran sueño que sintieron como propio para ser materializado. Gracias por todo y Dios los bendiga.

Lucia Nathalia Lizcano Gómez

DEDICATORIA

A mí hijo Samuel Andrés por ser el motor de mi vida.

A mí familia por su apoyo y a mis amigos por su acompañamiento y recomendaciones, en especial a mí compañera de trabajo de grado Nathalia Lizcano por su paciencia y dedicación.

Dedicatoria Yuly Sadieth Pareja Ahumada

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad industrial de Santander nuestro segundo hogar en este proceso profesional.

A la Escuela de Ingeniería Civil y cada uno de sus profesores que se encargaron de formarnos como profesionales integrales en pro de la sociedad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1 ¿QUÉ ES UNA INUNDACIÓN?	17
1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES DE ACUERDO A SU TIEMPO DE RESPUESTA	18
1.2.1 Inundaciones repentinas o violentas	18
1.2.2 Inundaciones lentas	19
1.3 INUNDACIONES DE ACUERDO CON SU ORIGEN.....	19
1.3.1 Inundaciones Pluviales	19
1.3.2 Inundaciones Fluviales	20
1.3.3 Inundaciones Costeras	21
1.3.4 Inundaciones por fallas de infraestructuras hidráulicas	21
1.4 ¿SE PUEDE PRONOSTICAR UNA INUNDACIÓN?	22
1.5 RADARES METEOROLÓGICOS	23
1.5.1 Producto de Radar Meteorológico	24
1.5.2 Ecuación del Radar Meteorológico	25
1.5.3 Tipos de Radares Meteorológicos	28
1.6 SATÉLITES METEOROLÓGICOS	28
1.6.1 Tipos de Satélites	29
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	30
3. METODOLOGÍA	32
3.1 TELEDETECCIÓN.....	33
3.1.1 Componentes de un sistema de Teledetección	33
3.1.2 Clases de Teledetección.....	35

3.1.3 Interpretación de Información de Radar.....	35
3.1.4 Interpretación de Información satelital	36
4. INTEGRACIÓN DE LOS RADARES Y SATELITES PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES	39
5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
6. CONCLUSIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Número de eventos de ayuda a damnificados en que la Cruz Roja Internacional ha actuado, desde 1919 - 2004.	17
Figura 2. Inundaciones Súbitas.....	18
Figura 3. Inundaciones Lentas.....	19
Figura 4. Inundaciones Pluviales.	20
Figura 5. Inundaciones Fluviales	20
Figura 6. Inundaciones Costeras.	21
Figura 7. Inundaciones por fallas de Infraestructura hidráulicas.	22
Figura 8. Radar Meteorológico.....	23
Figura 9. Esquema de la energía captada y reflejada por una gota.....	24
Figura 10. Proyección del PPI sobre la horizontal.	24
Figura 11. Esquema de fragmentos de elevación de una imagen CAPPI.	25
Figura 12. Satélite Meteorológico.	28
Figura 13. Metodología utilizada	32
Figura 14. Componentes de un sistema de Teledetección.	33
Figura 15. Imagen de Radar.	35
Figura 16. Imagen del Canal Visible.	37
Figura 17. Imagen del Canal Infrarrojo.	38
Figura 18. Imagen del Canal de Vapor de Agua.	38
Figura 19. Distribución de Pluviógrafos en Colombia.	45

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ecuaciones de relación Z-R.	27
Tabla 2. Tipos de Radares Meteorológicos.	28
Tabla 3. Relación entre Reflectividad e Intensidad de Precipitación.....	36
Tabla 4. Integración de los radares y satélites para la predicción de inundaciones	39
Tabla 5. Red pluviométrica IDEAM.	43
Tabla 6. Capacidades y Limitaciones de las Instituciones y Proyectos con herramientas de radares y satélites.	48

RESUMEN

TÍTULO: ESTADO DEL ARTE EN LAS METODOLOGÍAS DE SATÉLITES Y/O RADARES METEOROLÓGICOS COMO HERRAMIENTA PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES EN CUENCAS NO AFORADAS

AUTORAS: LUCIA NATHALIA LIZCANO GÓMEZ**
YULY SADIETH PAREJA AHUMADA

PALABRAS CLAVES: Inundación, radar, satélites, estado del arte, precipitación, sensores remotos.

DESCRIPCIÓN

Los medidores de superficie de lluvia (pluviómetros y pluviógrafos) presentan grandes márgenes de error, además de errores propios del aparato y externos del mismo; debido a esto, la información de este tipo de estaciones es poco fiable y también subestimada puesto que, la medición se presenta como una altura o lámina de lluvia y dicha medición queda sujeta a la interpretación o lectura del operador. Como apoyo al desempeño de las estaciones de superficie y así, reducir el margen de inexactitud en las mediciones puntuales, se implementa el uso del radar meteorológico, y para escalas espaciales de mayor cobertura se usan sensores multiespectrales sobre plataformas satelitales. La ventaja del primero (radar meteorológico), es que su uso permite tener una medición de amplia cobertura y alta resolución espacial y temporal. Para los segundos (sensores multiespectrales), las imágenes obtenidas permiten apreciar nubes, frentes y tormentas tropicales, dirección del viento, alineamientos y movimiento de nubes en sucesión de imágenes; de igual manera, permiten determinar alturas y tipos de nubes.

La finalidad de este artículo es describir las metodologías más recientes desarrolladas e implementadas a nivel mundial de estimación de precipitaciones enfocadas hacia la predicción de inundaciones cuya herramienta para tal fin sean radares, sensores remotos y satélites meteorológicos. De igual manera, una síntesis de los principales objetivos de cada una de las técnicas implementadas en el campo de los riesgos de inundación.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Civil. Director: Walter Antolinez Quijano, Magister en Ingeniería Civil

ABSTRACT

TITLE: STATE OF THE ART IN THE METHODOLOGIES SATELLITE AND / OR WEATHER RADAR AS A TOOL FOR FLOOD FORECASTING UNGAUGED

AUTHORS: LUCIA NATHALIA LIZCANO GÓMEZ**
YULY SADIETH PAREJA AHUMADA

KEYWORDS: Flood, radar, satellites, state of the art, precipitation, remote sensing.

DESCRIPTION

Meters of rain surface (rain gauges and recordings) have large margins of error, in addition to errors of the device and external of it, because of this, the information of this type of stations is unreliable and underestimated, since the measurement is presented as a height or sheet of rain and the measurement is subject to the interpretation or reading of the operator. As a support to the surface stations, and so, reduce the margin of inaccuracy in the punctual measurements, It is implemented the use of meteorological radar, and multispectral sensors on satellite platforms are used for spatial scales of greater coverage. The advantage of the first one (meteorological radar) is that, its use allows a wide coverage measurement, and high spatial and temporal resolution. For the second one (multispectral sensors), the images obtained allow to see clouds, fronts and tropical storms, wind direction, alignment and movement of clouds in succession of images; Similarly, They allow to determine heights and cloud types.

The purpose of this article is to describe the most recent methodologies developed and implemented worldwide, for the estimation of precipitations focused to the prediction of floods, which tools for this purpose are radars, meteorological satellites and remote sensors-centred. In the same way, a synthesis of the main objectives of each of the techniques implemented in the field of flood risks.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Director: Walter Quijano Antolinez, Master of Civil Engineering

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones constituyen una amenaza constante y son eventos que se desencadenan de manera repentina. Estas son asociadas con el aumento en las precipitaciones y conllevan a eventos extremos de las mismas, de los niveles de los ríos o ser causantes de fuertes tormentas, este fenómeno ha generado grandes pérdidas económicas, ambientales y de vidas humanas.

A partir de la segunda guerra mundial, se implementan nuevas tecnologías como soporte ante las limitaciones presentadas con los medidores de superficie de precipitaciones (pluviómetros y/o Pluviógrafos) como lo son los radares con aplicación meteorológica que permiten localizar precipitaciones, calcular su trayectoria y estimar su tipo (lluvia, nieve, granizo, entre otros). De igual manera éstos tienen sus limitaciones como por ejemplo generar ecos de tierra (montañas, edificios, entre otros) y con ello dar equivocadas predicciones que conllevan a necesitar de nuevas herramientas para este fin, como es el caso de los satélites meteorológicos que están destinados a la supervisión del tiempo atmosférico y del clima de la tierra. [7][13]

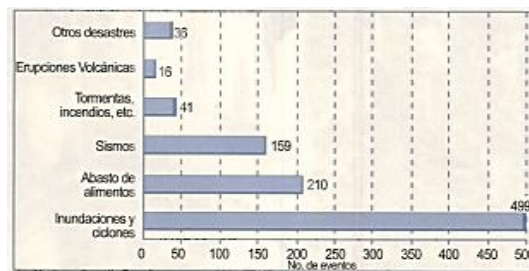
Este proyecto presenta el estado del arte en la implementación de radares y satélites para la predicción de inundaciones en cualquier tipo de cuenca; se basa en la descripción de los proyectos y los resultados obtenidos por las instituciones que tienen como finalidad el uso de estas estrategias tecnológicas para generar un aporte a la mitigación de los efectos producidos por el fenómeno de la inundación y adicionalmente para crear una base de datos que con el tiempo podrá ser utilizada para analizar resultados que indicarán en su momento si la predicción ha sido exitosa. En el documento en su primera parte se encontrará una breve descripción de la información teórica y metodológica del mismo; en segunda instancia la presentación de las instituciones y/o estudios dedicada a la finalidad

del proyecto, descripción de los mismos, ventajas y desventajas y una final y tercera parte donde se plasma que aportes pueden ser tenidos en cuenta como implementación en el territorio colombiano, encaminado a la predicción de inundaciones.

1. MARCO TEÓRICO

A nivel mundial las inundaciones están aumentando más rápidamente que ningún otro desastre. De acuerdo con la Cruz Roja Internacional, durante el periodo 1919-2004, han colaborado con ayuda en más eventos de inundación es que de cualquier otro tipo (figura 1), debido quizás al desarrollo de los asentamientos urbanos que han modificado el ecosistema de las zonas inundables de un río incrementando el riesgo de dicho evento (**CENAPRED, 2013**). [1]

Figura 1. Número de eventos de ayuda a damnificados en que la Cruz Roja Internacional ha actuado, desde 1919 - 2004.



Fuente: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies.

1.1 ¿QUÉ ES UNA INUNDACIÓN?

Para la UNESCO en su *Glosario Hidrológico Internacional (OMM/UNESCO, 1974)* la definición oficial de inundación es: “Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua”, también, “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. De manera que una inundación es la elevación del nivel del cauce mayor a lo habitual, lo que por lo general genera pérdidas materiales, naturales y hasta mortales.

Por otra parte, creciente se define como: “Una elevación rápida y habitualmente breve del nivel de las aguas en un río o arroyo hasta un máximo desde el cual dicho nivel desciende a menor velocidad” (OMM/UNESCO, 1974) [2].

1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS INUNDACIONES DE ACUERDO A SU TIEMPO DE RESPUESTA

1.2.1 Inundaciones repentinas o violentas. Son aquellas que ocurren en un tiempo muy corto, donde las aguas desarrollan grandes velocidades con un caudal considerable. Se caracterizan por su corta duración y gran velocidad arrastrando lo que encuentra a su paso. Las zonas urbanas son usualmente los sectores donde se presentan este tipo de crecientes debido a la “cubierta impermeable” formada artificialmente donde el agua no puede infiltrarse y es convertida en escorrentía en su totalidad (CENAPRED, 2013).

Un claro ejemplo de este tipo de eventos ocurrió el 03 de Noviembre del año 2007 en la ciudad de Bogotá, Cundinamarca donde se presentó una inusual tormenta de lluvia con granizo como se puede apreciar en la Figura 2.

Figura 2. Inundaciones Súbitas.



Fuente: El Tiempo. Mientras el país se inunda. Disponible en: http://www.eltiempo.com/Multimedia/galeria_fotos/Ciencia/GALERIAFOTOS-WEB-PLANTILLA_GALERIA_FOTOS-11938556.html.

1.2.2 Inundaciones lentas. Estas se presentan cuando el agua proveniente de lluvias o del desbordamiento de una corriente de agua cubre poco a poco las zonas cercanas a las planicies o valles del río.

Una muestra de este tipo de inundaciones es lo ocurrido en el municipio de Girón, Santander donde las precipitaciones ocurridas entre los días 7 y 12 de febrero del año 2005 ocasionaron un aumento drástico en los niveles de escorrentía produciéndose de esta forma un desbordamiento del Río de Oro trayendo consigo inundaciones, deslizamiento y avalanchas, ver Figura 3.

Figura 3. Inundaciones Lentas.



Fuente: Disponible en: <http://www.erosion.com.co/efectos-del-agua-en-deslizamientos/43-deslizamiento-e-inundaci%C3%B3n-en-gir%C3%B3n-santander.html>. Ing. Jaime Suarez Díaz.

1.3 INUNDACIONES DE ACUERDO CON SU ORIGEN

1.3.1 Inundaciones Pluviales. Se dan a consecuencia de la precipitación, presentándose cuando el suelo se ha saturado y el agua comienza a acumularse. Un ejemplo de este tipo de inundación se presenta en la Figura 4.

Figura 4. Inundaciones Pluviales.



Fuente: Centro histórico de Cartagena Disponible en: <http://www.eluniversal.com.co/cartagena/sociedad-de-ingenieros-y-arquitectos-preocupada-por-drenajes-pluviales-140528>, citado el 1 de Noviembre de 2013, EL UNIVERSAL. 2011

1.3.2 Inundaciones Fluviales. Son generadas cuando los cuerpos de agua (Ríos, Mares o Lagos) superan su máximo nivel de capacidad, por ende se desbordan quedando agua sobre el terreno aledaño a éstos. Éstas se presentan por las precipitaciones registradas en cualquiera de las microcuencas que conforman la cuenca y no necesariamente por las lluvias de la zona afectada. Este tipo de inundación es apreciable en la figura 5 ocurrida en el municipio de Girón Santander el 5 de febrero de 2005.

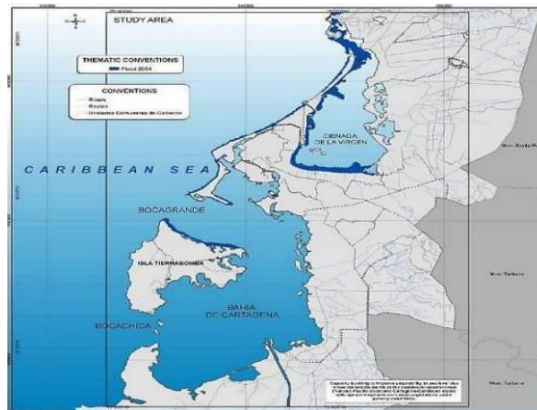
Figura 5. Inundaciones Fluviales



Fuente: Disponible en: <http://www.erosion.com.co/efectos-del-agua-en-deslizamientos/43-deslizamiento-e-inundaci%C3%B3n-en-gir%C3%B3n-santander.html>. Ing. Jaime Suarez Díaz.

1.3.3 Inundaciones Costeras. Se originan cuando el nivel del mar asciende causado por la “marea alta” permitiendo que éste siga tierra adentro en las zonas costeras. La “marea alta” surge de las tormentas por vientos ciclónicos tropicales en la superficie del mar sumado al oleaje. En la figura 6, el tono azul más oscuro representa el ascenso del nivel del mar en la zona costera, produciendo así este tipo de inundación. [2]

Figura 6. Inundaciones Costeras.



Fuente: Adaptación Costera al Ascenso del Nivel del Mar, Martha P. Vides Ed. 2008

1.3.4 Inundaciones por fallas de infraestructuras hidráulicas. Si la capacidad de las obras destinadas para la protección es insuficiente la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura será mayor que si no existiera ésta obra y sus posibles causas pueden ser: diseño escaso, mala operación, falta de mantenimiento o fin de su vida útil. Este tipo de obras deben estar diseñadas para niveles ordinarios y extraordinarios del agua contenida (CENAPRED, 2013) [2].

Colombia ha vivido eventos de inundación por falla de infraestructura hidráulica, como es el caso de la ruptura del canal del dique, ubicado entre los departamentos de Bolívar y Atlántico durante la época invernal iniciada desde Diciembre del 2010, como se aprecia en la figura 7.

Figura 7. Inundaciones por fallas de Infraestructura hidráulicas.



Fuente: Colombia/ Medio departamento inundado por ruptura del canal del Dique, Disponible en: <http://colarebo.com/2010/12/16/colombia-medio-departamento-del-atlantico-inundado-por-ruptura-del-canal-del-dique/>, citado el 16 de Diciembre de 2010, Colarebo.

1.4 ¿SE PUEDE PRONOSTICAR UNA INUNDACIÓN?

Sí es posible pronosticar la presencia de un fenómeno hidrometeorológico capaz de generar una inundación, ya que se llevan a cabo monitoreo y estudio de evolución de las lluvias durante sus distintas fases.

Las mediciones de la intensidad de la lluvia con mayor precisión, buena resolución espacial y temporal, son primordiales para el análisis hidrológico y su predicción.

Existen tres métodos principales para medir precipitaciones:

- Pluviómetros y Pluviógrafos
- Información de radar
- Información satelital

1.5 RADARES METEOROLÓGICOS

Es un dispositivo de teledetección activa capaz de localizar precipitaciones, calcular su movimiento, estimar su composición y hasta prever su evolución a muy corto plazo, ver Figura 8.

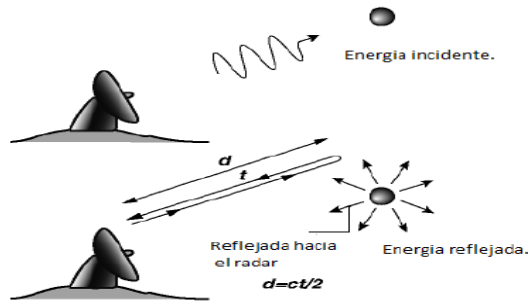
Figura 8. Radar Meteorológico.



Fuente: Sistema de Alerta Temprana del Valle del Aburrá. Disponible en: <http://siata.gov.co/>.

Su funcionamiento básico se basa en la emisión de pulsos electromagnéticos del orden del microsegundo en una determinada dirección, estos pulsos se propagan por la atmósfera a la velocidad de la luz y en este trayecto las ondas electromagnéticas interactúan con los cuerpos de agua suspendidos en la atmósfera, que difunden en todas las direcciones el haz incidente denominado eco, ésta radiación es recibida por la antena, la cual es decodificada y procesada. Estos datos proveen información sobre la distancia a la que se encuentran las partículas así como de su dimensión, cantidad y volumen medida en decibeles (dBZ) denominada reflectividad; en algunos casos su velocidad y composición por radares más modernos, ver Figura 9 [3].

Figura 9. Esquema de la energía captada y reflejada por una gota.

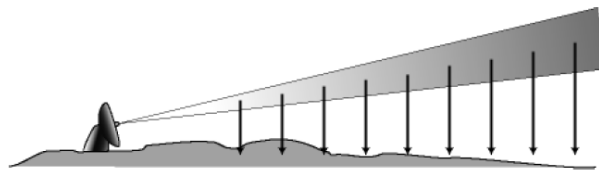


Fuente: Curso de Posgrado de Climatología Aplicada “El Radar Meteorológico y sus Aplicaciones Hidrológicas”, Sánchez Rafael y Corral Carles, UPC (2006).

1.5.1 Producto de Radar Meteorológico. Se llaman producto de radar a un despliegue en pantalla o impresión que muestra las mediciones que el radar realiza. Los productos típicos de un radar se encuentran relacionados con la capacidad del movimiento de la antena, giro en acimut (θ) y en ángulo de elevación (ϕ) estas suelen generar dos tipos de imágenes:

1.5.1.1 Indicador de Posición en Planta (PPI): Representa la reflectividad visto desde arriba mientras gira en acimut, manteniendo fijo el ángulo de elevación; PPI es una observación en el plano (r, θ) para $\phi = \text{constante}$, ver Figura 10 [14].

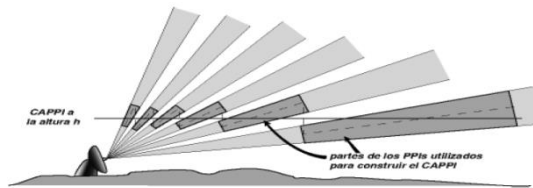
Figura 10. Proyección del PPI sobre la horizontal.



Fuente: Curso de Posgrado de Climatología Aplicada “El Radar Meteorológico y sus Aplicaciones Hidrológicas”, Sánchez Rafael y Corral Carles, UPC (2006).

1.5.1.2 Indicador de posición a altura constante (CAPPI): Representa la reflectividad registrada sobre un plano a una altura constante, esto se logra realizando barridos PPI sucesivos con ángulos de elevación (ϕ) cada vez mayor, ver Figura 11 [15].

Figura 11. Esquema de fragmentos de elevación de una imagen CAPPI.



Fuente: Curso de Posgrado de Climatología Aplicada “El Radar Meteorológico y sus Aplicaciones Hidrológicas”, Sánchez Rafael y Corral Carles, UPC (2006).

1.5.2 Ecuación del Radar Meteorológico. El Radar registra la energía devuelta por las gotas de lluvia medida en potencia, expresada como:

$$P_{(r_0)} = \frac{C}{L^2_{(r_0)} * r^2} * Z_{(r_0)}$$

Dónde:

P_{r0} : Potencia recibida por el radar

C: Constante relacionada a parámetros específicos del radar

r: La distancia del radar al blanco

L_{r0} : Factor de atenuación

Z_{r0} : Reflectividad

La potencia se expresa como media debido a que el radar usualmente emite un tren de n pulsos; así para un volumen situado a una distancia r se miden n valores de potencia que luego se promedian para obtener $\overline{P_r}$.

$$\overline{P}_{(r_0)} = \frac{C}{L^2_{(r_0)} * r^2} * Z_{(r_0)}$$

La estimación de la intensidad de lluvia a partir de los datos de RADAR está basada en modelos estadísticos empíricos que a través de experimentos buscan obtener una correlación de las variables como reflectividad de radar (Z) e intensidad de lluvia (R).

La reflectividad Z se define como la suma de los diámetros a la sexta potencia de las gotas contenidas en el interior de un volumen, es decir,

$$Z = \int_0^{\infty} N(D) * D^6 dD$$

Dónde:

N (D): función de distribución de las gotas de agua.

Por su parte la intensidad de lluvia se puede expresar como, el flujo de agua a través de la superficie, y también se puede formular en función de N (D) como,

$$R = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} V(D) * N(D) * D^3 dD$$

Dónde:

V (D): Velocidad terminal de caída de la gota de agua de diámetro D.

A partir de datos experimentales de Z y R se ha comprobado que las relaciones entre ambas variables suele responder a una función potencial del tipo,

$$Z = aR^b$$

Siendo

$$Z = (\text{mm}^6/\text{m}^3)$$

R = mm/h

a y b=- coeficientes ajustables.

El ajuste de ecuaciones ZR fue objeto de estudios de muchos científicos, en varias regiones, para varios tipos de precipitación, y resultaron muchas combinaciones de valores para a y b. En la tabla siguiente están algunas de las principales ecuaciones propuestas.

Tabla 1. Ecuaciones de relación Z-R.

Z=aR ^b	a	b	Validez
Marshall –Palmer (1948)	200	1,6	Precipitaciones homogéneas y eventos estratiformes
Blanchard(1953)	31	1,37	Precipitaciones orográficas
Jones (1956)	486	1,37	Precipitaciones convectivas
JossyWaldvogel (1967)	230	1,4	Precipitaciones medias
JossyWaldvogel (1967)	400	1,3	Procesos convectivos intensos
JossyWaldvogel (1967)	100	1,4	Procesos frontales– gotas muy pequeñas
Smithet. al. (1975)	155	1,88	Procesos convectivos– presencia de granizo
Sekhon ySrivastava(1970)	1780	2,21	Nieve

Fuente: Pardo Gómez Rafael, El radar meteorológico y los sistemas de alerta contra inundaciones causadas por intensas lluvias [Artículo "INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL", Vol. XXXII, núm. 1 Enero-Abril, 2011], Centro de Investigaciones Hidráulicas.

1.5.3 Tipos de Radares Meteorológicos

Tabla 2. Tipos de Radares Meteorológicos.

<i>TIPOS DE RADAR</i>	<i>LONGITUD DE ONDA [cm]</i>	<i>FRECUENCIA [GHz]</i>	<i>UTILIDAD [Km]</i>
BANDA S	8,0 - 15,0	2,0 - 4,0	$0 < r < 240$
BANDA C	4,0 - 8,0	4,0 - 8,0	< 120
BANDA X	8,0 - 12,0	2,5 - 4,0	< 60

Fuente: Curso de Posgrado de Climatología Aplicada “El Radar Meteorológico y sus Aplicaciones Hidrológicas”, Sánchez Rafael y Corral Carles, UPC (2006) [7].

1.6 SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Son sistemas de observación que proporcionan una cobertura global y permanente con el objetivo de monitorizar el medio ambiente y estudiar fenómenos meteorológicos y climatológicos a nivel global y local. Proveen información especial sobre la ubicación y el movimiento de las nubes alrededor del mundo, ver figura 12.

Figura 12. Satélite Meteorológico.



Fuente: Nueva generación de satélites meteorológicos europeos. Disponible en: <http://kerchak.com/nueva-generacion-de-satelites-meteorologicos-europeos/>.

1.6.1 Tipos de Satélites

1.6.1.1 Órbita Polar: El plano de la orbital de estos es perpendicular al eje de rotación de la tierra, es decir, rodean la tierra de norte a sur o viceversa pasando sobre los polos en cada giro. Este tipo de satélites están en órbita heliosíncronas lo que quiere decir que puede observar un mismo lugar dos veces al día.

1.6.1.2 Órbita Geoestacionaria: Este tipo de satélites giran en torno a la Tierra sobre el ecuador sincronizados con su velocidad de rotación, es decir que acompañan a la Tierra y por consiguiente se encuentran situados siempre en un mismo punto sobre la superficie terrestre.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Entre los eventos naturales más peligrosos que están actualmente en aumento, las inundaciones son el más mortífero; a menudo, provocadas por fuertes tormentas, ciclones tropicales y tornados. El incremento de pérdidas debido a las inundaciones es también consecuencia de la variedad climática, la cual ha causado aumento de precipitaciones en gran parte de los continentes donde éstas han sido mortales, principalmente, porque llegan sin advertencia [5].

La estimación precisa de las precipitaciones, es quizá, uno de los aspectos más difíciles de la predicción de inundaciones. El uso de sensores remotos, ha venido incrementándose en los últimos años. Sensores que permiten muestrear una mayor área en periodos cortos, aportan información sobre los movimientos y la evolución de las precipitaciones, desplazamientos de las tormentas y emiten alertas con antelación. Aun así, la mayoría de los pronósticos de precipitación cuentan con un grado de incertidumbre muy grande en la predicción de inundaciones y éstas se ven limitadas debido a la simplificación en la incertidumbre de los modelos hidrológicos. De igual forma, se destaca el potencial con el que cuenta la nueva generación de modelos de pronóstico de inundaciones.

La predicción de inundaciones está basada en la estimación de la probabilidad de ocurrencia de un evento futuro empleando recolección de datos y conocimientos del medio ambiente. Es una herramienta que permite reducir considerablemente las consecuencias y de igual manera de ocurrencia de las mismas.

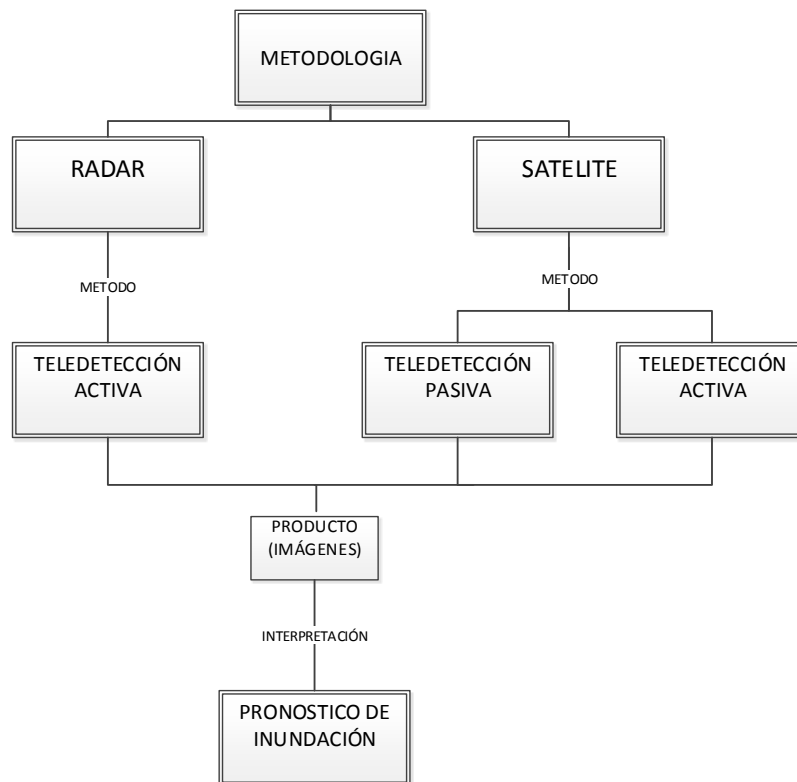
Se entiende como tiempo de aviso o de predicción, al tiempo de antelación o margen existente desde que se predice el evento hasta que tiene ocurrencia.

La predicción de inundaciones se compone de dos pasos: 1. Predicción meteorológica, basada en el conocimiento científico implementando nuevas tecnologías. 2. Pre-caracterización de ocurrencias considerando situaciones meteorológicas, mediante modelos hidrológicos.

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la predicción de inundaciones es el monitoreo y vigilancia de las precipitaciones por medio de radares y satélites, los cuales utilizan como método la teledetección que encamina a la revisión y análisis de las imágenes que éstos producen, una vez culminado este proceso se desarrolla el pronóstico meteorológico de acuerdo a su interpretación para llegar a un paso final de aplicación, ya sea de alerta y/o prevención.

Figura 13. Metodología utilizada



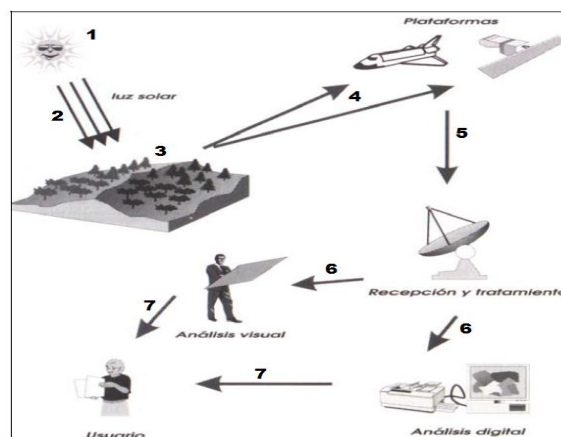
3.1 TELEDETECCIÓN

Es una disciplina que permite obtener información a distancia de un objeto o la superficie terrestre, sin entrar en contacto con dicho material. Para que ello sea posible debe existir un tipo de interacción entre los objetos observados en la superficie terrestre, marina o la atmosfera y un sensor situado en una plataforma (satélite, radar, avión, etc.). Este análisis permite el reconocimiento de las características de los fenómenos que en estos se produce.

El término *teledetección* es un vocablo a la traducción latina del inglés “Remote Sensing” para definir el conjunto de medios que permiten adquirir información a distancia sobre las cosas sin contacto material con éstos mediante el estudio de la energía electromagnética emitida o reflejada por éstos y que es registrada por un dispositivo (sensor), también, se incluye las técnicas empleadas para la transformación de dichos datos en información útil [3] [4].

3.1.1 Componentes de un sistema de Teledetección

Figura 14. Componentes de un sistema de Teledetección.



Fuente: Teledetección, Nociones y Aplicaciones, Universidad de Salamanca 2006

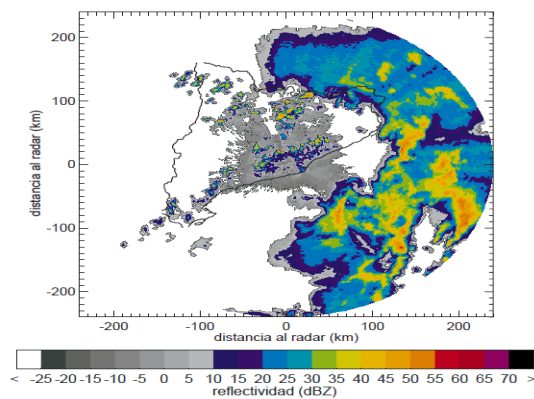
- 1) **Fuente de energía:** El primer componente es la fuente generadora de radiación electromagnética que ilumine o provea energía al objeto de interés.
- 2) **Radiación y la atmósfera:** Ya que la energía “viaja” desde la fuente al objeto, entrará en contacto e interacción con la atmósfera. Ésta interacción tiene una segunda vez cuando la energía “viaja” desde el objeto al sensor.
- 3) **Interacción con el objeto:** La energía interactúa con el objeto dependiendo de las propiedades de éste y de la radiación, así como de las características físicas.
- 4) **Detección de energía por el sensor:** Se necesita un sensor remoto que recoja y grabe la radiación electromagnética reflejada o emitida por el objeto y la atmósfera, además de codificarla y enviarla al sistema de recepción.
- 5) **Transmisión, recepción y procesamiento:** La energía grabada por el sensor debe ser transmitida a una estación de recepción y procesamiento donde los datos son convertidos a un formato apropiado, y tras las oportunas correcciones se distribuye a los intérpretes.
- 6) **Interpretación y análisis:** La imagen procesada se interpreta visual y/o digitalmente convirtiéndola en una clave temática o cuantitativa, orientada a facilitar la evaluación del problema de estudio.
- 7) **Aplicación:** Paso final de la teledetección donde se aplica la información extraída de las imágenes del objeto revelando nueva información o ayudando a resolver problemas dictaminando las consecuencias que de ahí se derivan [4].

3.1.2 Clases de Teledetección. Existen dos clases de teledetección: pasiva y activa.

- **Teledetección Pasiva:** consiste en la detección de la energía electromagnética natural (temperatura) emitida por un cuerpo o reflejada por una fuente lumínica (sol). Algunos ejemplos de este tipo de teledetección son: la fotografía, los infrarrojos, los radiómetros, sensores de barridos (Scanners), entre otros.
- **Teledetección Activa:** consiste en la detección de la energía de cuerpos emitida por su propio haz de luz. Algunos ejemplos son: los radares y las plataformas satelitales [4].

3.1.3 Interpretación de Información de Radar. Por medio de relaciones empíricas se puede estimar la intensidad de la precipitación en función de la reflectividad (Z), ver Figura 14.

Figura 15. Imagen de Radar.



Fuente: Optimización de la medida de lluvia por radar meteorológico para su aplicación hidrológica, Sánchez Rafael y Guijarro Diezma, UPC.

Tabla 3. Relación entre Reflectividad e Intensidad de Precipitación.

Reflectividad (dBZ)	Tipo de Precipitación
-30 a 0	Apenas detectable
0 a 10	Llovizna o lluvia muy ligera; nieve ligera
10 a 30	Lluvia ligera o moderada; nieve más intensa
30 a 40	Lluvia moderada a fuerte
40 a 55	Nieve granulada
55 a 70	Granizo

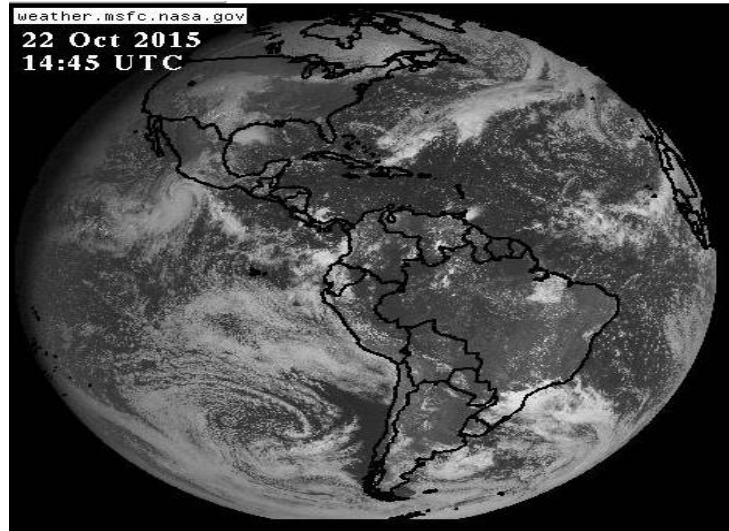
Fuente: Curso de radares, Yuter Sandra E., College of the Environment, Department of Atmospheric Sciences, University of Washington (2003).

3.1.4 Interpretación de Información satelital. En la actualización del desarrollo tecnológico los sensores utilizan un ámbito reducido de longitudes de onda que van desde el espectro visible comprendido entre 0,4 7 0,7 micras, hasta el dominio de las microondas, pasando por las regiones espectrales del infrarrojo.

3.1.4.1 Interpretación de las imágenes

1) Canal Visible (VI): Registra la radiación solar reflejada por las distintas superficies: hielo, nubes, nieve, etc. Las regiones más brillantes representan las nubes y el hielo, mientras que las más oscuras representan el agua y el cielo sin nubes. Estas imágenes no se pueden obtener en ausencia de la luz solar.

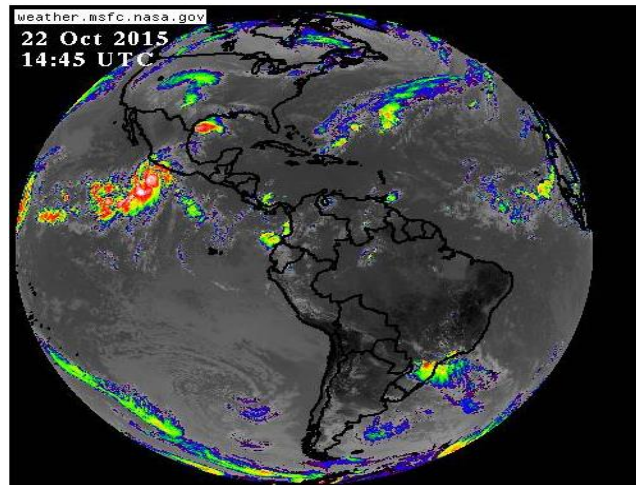
Figura 16. Imagen del Canal Visible.



Fuente: Interactive Global Geostationary Weather Satellite Images. Disponible en: <http://weather.msfc.nasa.gov/GOES/>, 2015

2) Canal Infrarrojo (IR): Registran la radiación de onda larga emitida por las superficies a diferentes temperaturas. En la imagen, las zonas oscuras son más cálidas y las más claras son más frías, las zonas sin nube serán normalmente oscuras, pero también las nubes muy bajas y la niebla pueden aparecer oscuras. Casi todas las otras nubes se presentarán claras. La escala de colores indica desde el gris para las zonas relativamente cálidas, los azules zonas más frías hasta el rojo donde las nubes son las más frías, altas y con mayor probabilidad de producir lluvia.

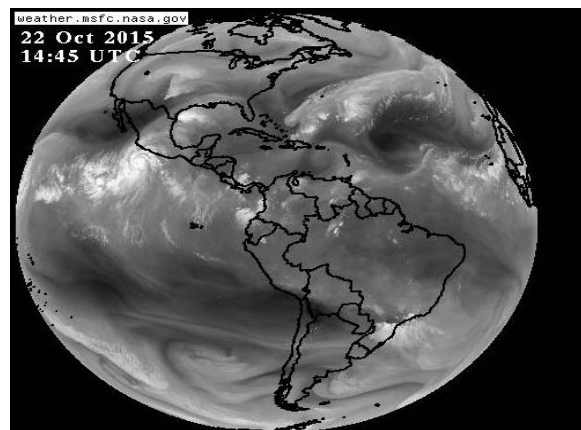
Figura 17. Imagen del Canal Infrarrojo.



Fuente: Interactive Global Geostationary Weather Satellite Images. Disponible en: <http://weather.msfc.nasa.gov/GOES/>, 2015

3) Canal de Vapor de Agua (WV): Registran la cantidad de vapor de agua que hay en la atmósfera. Los colores oscuros indican que el aire está seco y los colores brillantes indican que hay contenido mayor de humedad en la masa de aire.

Figura 18. Imagen del Canal de Vapor de Agua.



Fuente: Interactive Global Geostationary Weather Satellite Images. Disponible en: <http://weather.msfc.nasa.gov/GOES/>, 2015. [9].

4. INTEGRACIÓN DE LOS RADARES Y SATELITES PARA LA PREDICCIÓN DE INUNDACIONES

Tabla 4. Integración de los radares y satélites para la predicción de inundaciones

DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA (S) / PARÁMETRO DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
INSTITUCIONES INTERNACIONALES		
Sistema de Alerta de Inundación Global GFAS II (2014)	Satélites http://gfas.internationalfloodnetwork.org/n-gfas-web/PC/frmMain.aspx Parámetro: Precipitación a nivel Global	Utiliza el mapeo de probabilidad de precipitaciones de la JAXA, se encarga de la clasificación de alerta de inundación de acuerdo al espesor de la lámina de agua. Esto lo plasma en un mapa global, con un margen de siete (7) horas de retraso.
Observatorio Dartmouth de Inundaciones	Red satelital, sensores y estaciones automáticas. http://floodobservatory.colorado.edu/ Parámetro: Variabilidad del agua superficial	Investigación hidrológica en la zona de variabilidad de las aguas superficiales, uso de teledetección y modelización. Utiliza información de sensores orbitales suministrada por la NASA, JAXA, la ESA y otras agencias espaciales.
Administración Nacional Oceánica y Atmosférica	Red Satelital http://www.noaa.gov http://www.nesdis.noaa.gov Parámetro: Condiciones hidrológicas y precipitaciones	Cuenta con dos tipos de satélites: Geoestacionarios, monitorean alrededor del Hemisferio Occidental unas 22000 millas; de Órbita Polar, proporcionan la información global de 540 millas sobre la Tierra.
Plataforma Modular Integrada para la Gestión de los Recursos Hídricos Cubanos	Red de radares y estaciones pluviométricas. Parámetro: Precipitación	Cuenta con una amplia red de pluviómetros que permiten acceder a una base histórica de datos, que al ser integrados con los registros de la red de radares quedan a disposición de los hidrólogos y meteorólogos para su interpretación, de esta forma llegar a los resultados que se requieren.

Tabla 4. (Continuación)

DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA (S) / PARÁMETRO DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
INSTITUCIONES INTERNACIONALES		
SAT-LAWR	<p>Red de radares LAWR (Banda X) y estaciones hidrometeorológicas</p> <p>Parámetro: Monitoreo de sistemas atmosféricos que produzcan precipitación</p>	<p>Observación y verificación de imágenes de radar.</p> <p>El funcionamiento de este SAT se define por seis etapas: 1) Monitoreo y vigilancia, 2) Análisis del pronóstico meteorológico, 3) Observación y verificación de imágenes de radar, 4) Redacción de alerta (Pronóstico de muy corto plazo), 5) Difusión de la alerta, 6) Reevaluación periódica de la evolución de las lluvias.</p> <p>La implementación del sistema comprendió la construcción de una red de radares meteorológicos, que se complementaron con la red de estaciones hidrometeorológica en tiempo real.</p>
INSTITUCIONES NACIONALES		
Sistema de Alerta Temprana Ambiental: SIATA	<p>Red de sensores, estaciones meteorológicas, cámaras LiveStreaming y Radar meteorológico.</p> <p>http://siata.gov.co/newpage/index.php</p> <p>Parámetro: Monitoreo de variables hidrometeorológicas como: Temperatura, precipitación nivel de quebradas, humedad del suelo, dirección y velocidad del viento.</p>	<p>Utiliza información suministrada por las estaciones, sensores e imágenes de radar (barridos cada 5 min.) para obtener información de nubes y su precipitación.</p>

Tabla 4. (Continuación)

DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA (S) / PARÁMETRO DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
PROYECTOS INTERNACIONALES		
<p>The IDRISI Project</p>	<p>Radar meteorológico</p> <p>Parámetro: Precipitación.</p>	<p>Integración de datos de radar y generación de información de uso hidrológico en las cuencas insertas en el radio de acción óptimo del radar o redes de radares. Esta integración efectúa un proceso de corrección de errores y análisis de la información generada por radar (banda C). a través de diez (10) etapas: 1) obtención de imágenes, 2) integración de imágenes, 3) giro de imágenes, 4) conversión de valores de reflectividad, 5) corrección de errores de estabilidad, 6) caracterización de la precipitación, 7) conversión en valores de reflectividad, 8) relación reflectividad-intensidad de precipitación, 9) generación de productos acumulados, 10) corrección por errores orográficos</p>
<p>Storm tracking and observation of Rainfall-Runoff monitoring</p>	<p>Sistema de sensores, radar meteorológico y satélite.</p> <p>Parámetro: Precipitación.</p>	<p>Algoritmo basado en datos Meteosat, con el que identifica a partir de imágenes Meteosat, rasgos característicos de los cuerpos nebulosos.</p> <p>Este proyecto se consideraron cuatro temas principales: 1) Instalación y calibración de sistemas de sensores, incluyendo calibración de datos provenientes de radar y satélite; 2) Desarrollo de técnicas para la extracción de información, tales como algoritmos para calcular a partir de datos radar y satélite, áreas e intensidades de precipitación y para seguir el movimiento de las tormentas. 3) Desarrollo de métodos para integrar datos provenientes de satélite, radar y pluviómetros, con la ayuda de mapas climáticos a escala sinóptica; y 4) Definición de una estructura de información que comprenda un SIG y un análisis del rendimiento del sistema utilizando como casos de estudio eventos reales.</p>

Tabla 4. (Continuación)

DESCRIPCIÓN	HERRAMIENTA (S) / PARÁMETRO DE MEDICIÓN	METODOLOGÍA
PROYECTOS INTERNACIONALES		
<p>Polarisation and Doppler radar experiment (PADRE)</p>	<p>Radars con sistema Doppler y señal de polarización.</p> <p>Parámetro: Precipitación.</p>	<p>Análisis de datos de radar con sistema Doppler y de señal de polarización.</p> <p>Los resultados de este trabajo constituirán a largo plazo la base de nuevos procedimientos de alerta y pronóstico de crecientes más precisos y confiables.</p>
<p>RAIN GAIN</p>	<p>Red de radares, pluviómetros y disdrometros.</p> <p>http://www.raingain.eu</p> <p>Parámetro: Precipitación.</p>	<p>Métodos de estimación de la precipitación en el tiempo y en el espacio, utilizando la información de la red de radares (banda C y X), métodos de fusión óptima e integración de datos de radar, pluviómetro y disdrómetro, así como métodos para la reducción de resolución espacial y temporal. En cuatro ciudades piloto: Lovaina, Londres, París y Rotterdam, la información que se aplicará en los modelos de predicción de inundaciones en los sitios piloto para identificar lugares inundables y desarrollar soluciones efectivas para una mejor protección contra las inundaciones serán evaluados con base a los modelos detallados de datos de las lluvias y las inundaciones.</p>

5. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

- CASO PARTICULAR: COLOMBIA

El Instituto de hidrología, meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, a través de veintiún años ha tenido como misión fundamental proveer información que permita el desarrollo sostenible del país; haciendo seguimiento al medio ambiente, por medio de sus procesos naturales, como también a su comportamiento y respuesta ante la intervención humana [7].

El IDEAM, formula políticas ambientales, las bases para el ordenamiento ambiental, aprovechamiento, manejo y usos de los recursos naturales, todo esto basado en la toma, recolección, procesamiento y análisis del dato ambiental. Adicionalmente, coordina el sistema de información Ambiental, compuesto a su vez por los sistemas de: observación, información, base de datos, modelamiento ambiental y de recursos naturales; en base a ello desarrolló módulos de información que le han permitido formalizar protocolos, metodologías, estándares para el acopio de datos, su procesamiento, transmisión, análisis y difusión de la información [7].

El IDEAM, cuenta con una red pluviométrica bastante amplia, ver tabla 4.

Tabla 5. Red pluviométrica IDEAM.

PARAMETROS DE MEDICION	NO. DE ESTACIONES
Precipitación (Mensual, Anual, Década)	1463
Climatológica (Temperatura, humedad relativa, vientos, nubosidad, entre otros)	529
Hidrológicas (Niveles, caudales, sedimentos)	891

Fuente: Cogollo Briceño Julián Andrés, Desarrollo de una base conceptual y aplicación de radares hidro-climatológicos en Colombia [Tesis de grado] Pontificia Universidad Javeriana, 2005.

Por medio de su red automática hidrológica, principalmente en la cuenta del río Magdalena – Cauca, puede realizar alertas a las poblaciones aledañas a esta sobre la probabilidad de inundación. Por otra parte, cuenta con información de imágenes de satélite y modelos climáticos de centros internacionales que le permiten alimentar su base de datos y con el apoyo del Sistema Nacional para la Atención y Prevención de desastres, alertar sobre fenómenos dañinos inmediatos producto de las precipitaciones intensas, en tiempo real [7].

Sin embargo es importante resaltar que en la actualidad, no todas las estaciones pluviométricas se encuentran en funcionamiento debido a que no se cuenta con la tecnología suficiente y los recursos para el correspondiente mantenimiento de la misma, adicionalmente el IDEAM, no cuenta con información de estaciones de uso privado, ver Figura No. 18, no obstante, Colombia cuenta hoy en día con sistemas de alerta, como el Sistema de pronósticos hidrológicos y alertas tempranas de Colombia con la plataforma Fews adquiridos por el Instituto, como respuesta a la ola invernal que se vivió en el país durante los años 2010 y 2011.

La plataforma FEWS, permitió la articulación de tres redes hidrometeorológicas que cuentan con información en tiempo real o cuasi real; fuente de información que presentaban diferencias tecnológicas de transmisión, captura y almacenamiento y que fueron solucionadas a partir de tareas personalizadas de importación, configuradas en FEWS para cada caso específico. De esta manera, se logra que la información hiciera parte de la base de datos de FEWS. Como complemento FEWS - Colombia realiza tres tareas básicas: pre procesar (prepara la información para las siguientes tareas), actualizar (actualiza los modelos de pronóstico), pronostica (corre los modelos de pronóstico hidrológico) y genera informes para publicación en formato HTML. Este proyecto logró la implementación de una plataforma flexible y configurable que permite la integración de diferentes fuentes de información y programas de modelación hidrológica, que facilitan la generación de alertas hidrológicas [10].

A pesar de que el IDEAM ha hecho sus mayores esfuerzos para lograr emitir alertas tempranas para mitigar fenómenos que lleguen a tocar económica y socialmente al país, así como la protección de sus recursos naturales (fuentes de agua, suelo, vegetación), durante los últimos años se ha podido evidenciar que es necesario implementar nuevas tecnologías que le permitan tener una mayor cobertura a nivel nacional, de manera que no solo se suministre de información con medidores de superficie sino que además contemple la posibilidad de crear una red de radares que le permitan conocer el estado real de las precipitaciones y la distribución espacial de éstas.

Por ello, es necesario recomendar la investigación hecha por la universidad Javeriana con el software Lockheed Martin llamado “Desarrollo de una base conceptual y aplicación de radares hidroclimatológicos en Colombia”, donde se logra plasmar un análisis preliminar acerca de la ubicación estratégica de una red de radares en el país, así como la recomendación de los tipos de radares necesarios de acuerdo a la zona de ubicación, creemos muy conveniente esta

implementación de una red de radares que se integre con la red pluviométrica y de otros valores meteorológicos.

Ésta Red, estaría compuesta por 8 Radares banda S y 3 radares banda C, los cuales estarían ubicados estratégicamente en las principales ciudades del país [7].

Es importante aclarar, que los medidores de superficie miden el agua efectivamente precipitada y los radares, el agua potencialmente precipitable. De igual manera es importante tener en cuenta los parámetros que pueden comprometer la calidad de la información de los medidores de lluvia clasificados en dos categorías [13]:

- Inherentes a la medición: evaporación, distancia, difracción, atenuación atmosférica, entre otros.
- Inherentes al aparato: inclinación, defectos mecánicos, tiempo de oscilación, entre otros.

Para Colombia es recomendable la integración de los dos sistemas, radar y medidores de superficie, debido a que ofrece varias ventajas, además de las ventajas individuales de cada uno, y la mitigación de sus respectivas desventajas, dan la oportunidad de establecer una alerta temprana con suficiente tiempo de antelación de las inundaciones, sin dejar de lado el gran aporte que ofrecen los profesionales de hidrología y meteorología del país, éstos especialistas son imprescindibles para llegar a los resultados que se requieran con urgencia.

En la tabla 5 se encontrará plasmado las capacidades y limitaciones de algunas instituciones y proyectos que han implementado el uso de radares y/o satélites meteorológicos como una herramienta para el pronóstico de las precipitaciones, principal causa de las inundaciones.

Tabla 6. Capacidades y Limitaciones de las Instituciones y Proyectos con herramientas de radares y satélites.

PROYECTO	CAPACIDADES	LIMITACIONES
GFAS II	<ul style="list-style-type: none"> * Plataforma de Libre acceso * Cuenta con una precisión de 0,1° * Se alimenta por información suministrada por datos IR de los satélites NOAA, GOES, METEOSAT 	<ul style="list-style-type: none"> * Publica con retraso de aproximadamente 4 horas * No realiza predicción * se encuentra en estado de prueba puede ser eliminado sin previo aviso * Dependiente de la información suministrada por otra institución
DARTMOUTH	<ul style="list-style-type: none"> * Plataforma Global * Información Pública * Mapeo de zonas Inundables y de Sequia 	<ul style="list-style-type: none"> * No hace predicción * No da mediciones
NOAA	<ul style="list-style-type: none"> * Ofrece información de Precipitaciones que pueden acarrear inundaciones con 6 horas de antelación * Seguimiento de Tormentas tropicales * Cuenta con los dos tipos de Satélites existentes, permitiendo cubrir toda la extensión de la Tierra 	<ul style="list-style-type: none"> * Se enfoca a la Predicción Climática y de consecuencias de la misma en EE.UU
PLATAFORMA MODULAR INTEGRADA para la GESTIÓN de los RECURSOS HÍDRICOS CUBANO	<ul style="list-style-type: none"> * Cuenta con información histórica de medidores de superficie * Sistema combinado de Radar y medidores de superficie * Cubre todo el territorio Cubano con una amplia red de radares y pluviómetros 	<ul style="list-style-type: none"> * Centralizado en Cuba * Constante mantenimiento de la red general (calibración de equipos)
SAT-LAWR	<ul style="list-style-type: none"> * Alerta sobre posibles eventos extremos * Vigila y monitorea con radar tipo X * Sistema combinado de Radar y medidores de superficie 	<ul style="list-style-type: none"> * Centralizado en El Salvador * Pronostico a corto plazo * Radar Meteorológico de baja utilidad (r<60 Km)

Tabla 6. (Continuación)

PROYECTO	CAPACIDADES	LIMITACIONES
SIATA	<ul style="list-style-type: none"> * Alerta sobre posibles eventos extremos * Monitoreo de cuencas y microcuencas en tiempo real * Gran red conjunta de radar tipo C y estaciones de superficie * Información Pública 	<ul style="list-style-type: none"> * Zonificado en el Valle de Aburrá * Cuenta con un solo radar
SIG-IDRISI	<ul style="list-style-type: none"> * Estimación de Precipitaciones con imágenes de radar y satélite * Implementación a nivel mundial 	<ul style="list-style-type: none"> * No es Público, no comercial * No predice inundaciones * Limitado a zonas con red de radares
SRTORM	<ul style="list-style-type: none"> * Mejora la Identificación, Monitoreo y Pronostico de eventos de precipitación * Sistema combinado de Radar, Satélite y medidores de superficie * Pronostica Precipitación probable 	<ul style="list-style-type: none"> * Implementa en áreas costeras Mediterráneas de Europa * Sistema muy elaborado que no permite uso particular
PADRE	<ul style="list-style-type: none"> * Sistema mejorado de radares, radares equipados con sistemas Doppler y de polarización * Análisis Cuantitativo y Cualitativo de la Precipitación. 	<ul style="list-style-type: none"> * Inicia su implementación en 1976 en registro de datos para información estadística

6. CONCLUSIONES

- El interés de predecir una inundación se centra realmente, en la magnitud de la misma, debido a los costos económicos y de vidas humanas que con ella trae.
- Existen métodos empíricos para la predicción de inundaciones basados en la comparación de las condiciones climáticas, geomorfológicas e hidrológicas similares entre cuencas aforadas y no aforadas, los cuales presentan márgenes de error que no permiten ser considerados en el marco de alerta temprana para la mitigación del impacto del fenómeno inundación [23].
- El producto (imágenes) presentado por radares y satélites meteorológicos por medio del método de la teledetección permite tener un acercamiento certero de la predicción de un evento de precipitación que pueda conllevar al fenómeno inundación.
- Para que en Colombia se establezca un certero Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones, es necesario integrar a su ya existente red de medidores de superficie, una red de radares que le permita generar una alerta de ocurrencia de un evento de inundación, siendo este tiempo de anticipación significativamente mayor.
- La metodología utilizada por medio de radares y satélites para la predicción de precipitaciones puede ser utilizada para cuencas de difícil acceso y/o cuencas que en la actualidad no presentan información histórica (cuencas no aforadas), siendo esta una de las mejores opciones para generar alerta sobre inundaciones en las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Centro Nacional de Prevención de Desastres –CENAPRED, Serie Fascículos (Inundaciones), 2007
- [2] Organización Meteorológica Internacional, y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Glosario Hidrológico Internacional, 2012.
- [3] Gutiérrez Pérez Carlos, Muñoz Nieto Ángel L, Teledetección: Nociones y Aplicaciones, 2006.
- [4] Chuvieco Emilio, Fundamentos de Teledetección Espacial, Madrid, 1995.
- [5] Domínguez Calle Efraín, Lozano Báez Sergio, Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia [Artículo “Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales] Pontificia Universidad Javeriana, 2014.
- [6] Early Warning Systems A State of the Art Analysis and Future Directions, United Nations Environment Programme, 2012. Disponible en: (http://na.unep.net/siouxfalls/publications/Early_Warning.pdf).
- [7] Cogollo Briceño Julián Andrés, Desarrollo de una base conceptual y aplicación de radares hidro-climatológicos en Colombia [Tesis de grado] Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
- [8] Satélites Meteorológicos disponible en: http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico_climatologia_2011/Satelites%20Meteorologicos.pdf.

[9] Earth Science Decadal Survey. Satellite Images. Disponible en: <http://weather.msfc.nasa.gov/>

[10] Piloto para la gestión integral del riesgo en los componentes de pronóstico hidrológico y alerta Temprana. Disponible en: <http://fews.ideam.gov.co/Proyecto%20FEWS-Colombia.pdf>

[11] Sistema de Alerta Temprana del Valle del Aburrá. Disponible en: <http://siata.gov.co/>

[12] Domínguez Calle Efraín, Lozano Báez Sergio, Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia [Artículo “Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales” Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

[13] Pardo Gómez Rafael, El radar meteorológico y los sistemas de alerta contra inundaciones causadas por intensas lluvias [Artículo “INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL”, Vol. XXXII, núm. 1 Enero-Abril, 2011], Centro de Investigaciones Hidráulicas.

[14] Rain Gain. Disponible en: <http://www.raingain.eu>

[15] Vilchis Mata Iván, Quentin Emmanuelle, M. Bâ idou, Díaz Delgado Carlos, Estimación de precipitación diaria a través de un SIG con imágenes de radar meteorológico [Artículo “Tecnología y Ciencias del Agua”, Vol. II, núm. 4, Octubre-Diciembre, 2011], Instituto Mexicano de Tecnología del Agua México.

[16] Lemus Reyes Ángel de Jesús, Pacheco Reyes Manuel Ulises, Diseño de un Sistema de Alerta Temprana y estimación de intensidad de lluvia utilizando Radares de Banda X del Sistema LAWR de EL Salvador [Tesis de grado], Universidad de El Salvador, 2014.

[17] Fattorelli S., Casale R., Borga M., Da Ros D., Integrating Radar and Remote Sensing Techniques of Rainfall Estimation in Hydrological Applications for Flood Hazard Mitigation THE European Contribution: Perspectives and Prospects, European Commission, Directorate General XII, Science, Research and Development, Associazione Italiana di Idrologia (A.I.D.I.).

[18] Soldano Álvaro, Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones, Comisión Nacional de Actividades Espaciales y Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 2009.

[19] Bella, C.M. Di; Posse, G.; Beget, M.E.; Fischer, M.A.; Mari, N.; Veron, S., La Teledetección como Herramienta para la Prevención, Seguimiento y Evaluación de incendios e inundaciones, [Artículo "Ecosistemas", Vol. XVII, núm. 3, Septiembre-Diciembre, 2008], Asociación Española de Ecología Terrestre España.

[20] Jaxa Global Rainfall Watch. Disponible en: <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/guide.html>

[21] Londoño Palacio Olga Lucia, Maldonado Granados Luis Facundo, Calderón VillaFañez Liccy Catalina, Guía Para Construir un Estado del Arte, International Corporation of Networks of Knowledge, 2014.

[22] Gómez Vargas Ernesto, Obregón Neira Nelson, Rocha Aragón Diego Fernando, Método de Seguimiento de Nubes en Imágenes Satelitales, [artículo], Pontificia Universidad Javeriana, 2013.

[23] Günter Blöschl, Murugesu Sivapalan, Thorsten Wagener, Alberto VIGLIONE, Hubert Savenije, Runoff Prediction in Ungauged Basins Synthesis across Processes, Places and Scales, Cambridge University Press, 2013.

[24] Sánchez Rafael, Guijarro Diezma, Optimización de la medida de lluvia por radar meteorológico para su aplicación hidrológica, Dept. d'Enginyeria Hidràulica Marítima i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya.

BIBLIOGRAFÍA

BELLA, C.M. Di; POSSE, G.; BEGET, M.E.; FISCHER, M.A.; MARI, N.; VERON, S., La Teledetección como Herramienta para la Prevención, Seguimiento y Evaluación de incendios e inundaciones, [Artículo “Ecosistemas”, Vol. XVII, núm. 3, Septiembre-Diciembre, 2008], Asociación Española de Ecología Terrestre España.

Centro Nacional de Prevención de Desastres –CENAPRED, Serie Fascículos (Inundaciones), 2007

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de Teledetección Espacial, Madrid, 1995.

COGOLLO BRICEÑO, Julián Andrés. Desarrollo de una base conceptual y aplicación de radares hidro-climatológicos en Colombia [Tesis de grado] Pontificia Universidad Javeriana, 2005.

DOMÍNGUEZ CALLE, Efraín LOZANO BÁEZ, Sergio. Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia [Artículo “Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales] Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

DOMÍNGUEZ CALLE, Efraín; LOZANO BÁEZ, Sergio. Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia [Artículo “Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Física y Naturales] Pontificia Universidad Javeriana, 2014.

Early Warning Systems A State of the Art Analysis and Future Directions, United Nations Environment Programme, 2012. Disponible en: (http://na.unep.net/siouxfalls/publications/Early_Warning.pdf).

Earth Science Decadal Survey. Satellite Images. Disponible en: <http://weather.msfc.nasa.gov/>

FATTORELLI S., CASALE R., BORGA M., DA ROS D., Integrating Radar and Remote Sensing Techniques of Rainfall Estimation in Hydrological Applications for Flood Hazard Mitigation THE European Contribution: Perspectives and Prospects, European Commission, Directorate General XII, Science, Research and Development, Associazione Italiana di kjonomia (A.I.D.I.).

GÓMEZ VARGAS, Ernesto. OBREGÓN NEIRA, Nelson. ROCHA ARAGÓN, Diego Fernando. Método de Seguimiento de Nubes en Imágenes Satelitales, [artículo], Pontificia Universidad Javeriana, 2013.

GÜNTER, Blöschl; MURUGESU, Sivapalan; THORSTEN WAGENER, Alberto VIGLIONE, Hubert; SAVENIJE, Runoff. Prediction in Ungauged Basins Synthesis across Processes, Places and Scales, Cambridge University Press, 2013.

GUTIÉRREZ PÉREZ, Carlos; MUÑOZ NIETO, Ángel L, Teledetección: Nociones y Aplicaciones, 2006.

Jaxa Global Rainfall Watch. Disponible en: <http://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/guide.html>

LEMUS REYES, Ángel de Jesús; PACHECO REYES, Manuel Ulises. Diseño de un Sistema de Alerta Temprana y estimación de intensidad de lluvia utilizando Radares de Banda X del Sistema LAWR de EL Salvador [Tesis de grado], Universidad de El Salvador, 2014.

LONDOÑO PALACIO, Olga Lucia; MALDONADO GRANADOS, Luis Facundo; CALDERÓN VILLAFANEZ, Licky Catalina. Guía Para Construir un Estado del Arte, International Corporation of Networks of Knowledge, 2014.

Organización Meteorológica Internacional, y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Glosario Hidrológico Internacional, 2012.

PARDO GÓMEZ, Rafael. El radar meteorológico y los sistemas de alerta contra inundaciones causadas por intensas lluvias [Artículo "INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL", Vol. XXXII, núm. 1 Enero-Abril, 2011], Centro de Investigaciones Hidráulicas.

Piloto para la gestión integral del riesgo en los componentes de pronóstico hidrológico y alerta Temprana. Disponible en: <http://fews.ideam.gov.co/Proyecto%20FEWS-Colombia.pdf>

Rain Gain. Disponible en: <http://www.raingain.eu>

SÁNCHEZ, Rafael. GUIJARRO Diezma. Optimización de la medida de lluvia por radar meteorológico para su aplicación hidrológica, Dept. d'Enginyeria Hidràulica Marítima i Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya.

Satélites Meteorológicos disponible en:
http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico_climatologia_2011/Satellites%20Meteorologicos.pdf.

Sistema de Alerta Temprana del Valle del Aburrá. Disponible en:
<http://siata.gov.co/>

SOLDANO, Álvaro. Teledetección Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones, Comisión Nacional de Actividades Espaciales y Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 2009.

VILCHIS MATA, Iván; QUENTIN, Emmanuelle; M. BÂ, Idou, DÍAZ DELGADO, Carlos. Estimación de precipitación diaria a través de un SIG con imágenes de radar meteorológico [Artículo "Tecnología y Ciencias del Agua", Vol. II, núm. 4, Octubre-Diciembre, 2011], Instituto Mexicano de Tecnología del Agua México.