

**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**



**ANÁLISIS ESPACIAL DE INUNDACIÓN DEL RÍO FRIO DENTRO DE LA
JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE TABIO (CUNDINAMARCA)**

DAVID LEONARDO GARZON YAZO
Ingeniero Catastral y Geodesta

Artículo Científico

ING. FELIPE ALFREDO RIAÑO PEREZ
Docente Seminario de Investigación
Maestría en Educación

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESPECIALIZACIÓN EN PLANEACIÓN AMBIENTAL Y MANEJO INTEGRAL DE LOS
RECURSOS NATURALES
BOGOTA
2017**

ANÁLISIS ESPACIAL DE INUNDACIÓN DEL RÍO FRIO DENTRO DE LA
JURISDICCIÓN DEL MUNICIPIO DE TABIO (CUNDINAMARCA)

SPACE ANALYSIS OF RIO FRIO FLOODING WITHIN THE JURISDICCIÓN OF
THE MUNICIPALITY OF TABIO (CUNDINAMARACA)

David Leonardo Garzón Yazo¹

Fecha de recepción: 22 de Septiembre de 2017

Fecha de aprobación: 16 de Diciembre de 2017

Referencias: Brown, K. W., & Ryan, R. M. (2003). The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(4), 822-848. DOI:<http://dx.doi.org/10.1037/0022-3514.84.4.822>

RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo identificar las zonas de inundación mediante análisis multi-temporal de imágenes satelitales para poder mostrar las afectaciones que se presentan en los distintos sectores y de esta manera identificar los puntos críticos y generar estrategias de mitigación por medio de barreras ambientales y otras alternativas de manejo en el crecimiento del cauce del Rio Frio.

Palabras clave: Análisis Multi-temporal de imágenes satelitales de distintas zonas de inundación del Rio Frio dentro de la jurisdicción del Municipio de Tabio (Cundinamarca).

ABSTRACT

This work aims to identify flood zones through multi-temporal analysis in order to show the effects that occur in different sectors and in this way identify critical points and generate mitigation strategies through environmental barriers and other management alternatives in the growth of the channel of the Rio Frio.

Keywords: Multi-temporal analysis of satellite images of different flood zones of the Rio Frio within the jurisdiction of the Municipality of Tabio (Cundinamarca).

¹ INGENIERO CATASTRAL Y GEODESTA, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS, BOGOTA, COLOMBIA, inmobiliaria.dg7@gmail.com

INTRODUCCION

La idea principal es poder enmarcar la importancia de la identificación de las zonas inundables por medio de estudios y análisis multi-temporales de imágenes satelitales y estudios previos comparando el comportamiento del Río Frio en sus distintas zonas y estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional (C.A.R.) y distintas entidades municipales que presentan datos de control del cauce en estudio. En cuanto a la identificación de los puntos críticos se determinaran con recorrido que presenta los impactos que afectan a la comunidad y los daños que causan tanto materiales como inmateriales, la afectación de la fauna y flora. De igual forma dentro de la normativa del municipio se pretende realizar la inclusión de los estudios de detalle para adoptarlo dentro de

la documentación técnica de gestión de riesgo. De esta manera analizar como se ve afectado el territorio y la comunidad por este tipo de fenómeno; de igual forma se plantea un posible aprovechamiento del río con el fin de generar estrategias de aprovechamiento con el fin de captar agua y llegar a potabilizarla sin afectar Río Frio.

Dentro de la misma normativa del Esquema de Ordenamiento Territorial (E.O.T.) del municipio de Tabio, se pretende llegar a brindar una herramienta dentro del diagnóstico del municipio, parametrizando las posibles aplicaciones que este estudio podría brindar, no solamente a la población del Municipio de Tabio sino también a los municipios que se abastecen de la cuenca del Río Frio.

Estudios de multi-temporales de imágenes satelitales del Río Frio

¿QUE SON LOS ESTUDIOS MULTI-TEMPORALES A TRAVÉS DE IMÁGENES SATELITALES?

Los estudios multi-temporales se presentan a través del análisis de los eventos ocurridos en el transcurso de cierto tiempo determinado por el investigador resaltando los resultados significativos o con una variación relevante dentro de la zona determinada a estudiar por medio de imágenes satelitales.

¿PÓRQUE ES IMPORTANTE TENER EN CUENTA LOS ESTUDIOS MULTI-TEMPORALES?

Permite identificar el comportamiento y la periodicidad que se presenta la inundación o sequía dentro de las zonas sujetas de estudio, para prevenir y mitigar los daños causados por la inundación del área que recorre el Río Frio, la unificación de criterios y resultados que se pondrán a consideración de las demás temática del E.O.T. que contengan la administración municipal y distintas entidades a cargo del desarrollo del municipio de esta manera planificar estrategias y directrices dentro del territorio.

METODOLOGÍA

PERSPECTIVAS TEMPORALES EN TELEDETECCIÓN

Uno de los aportes más destacados de la teledetección espacial al estudio del medio ambiente es su capacidad para seguir procesos dinámicos, ya que las imágenes se captan por un sensor que observa la Tierra desde una órbita estable y repetitiva. La cadencia de observación dependerá del ciclo orbital de la plataforma y del campo de visión del sensor, si bien en términos prácticos los sensores ópticos también limitan su frecuencia real de adquisición en función de la cobertura nubosa.

El creciente énfasis en las aplicaciones medioambientales de la teledetección está subrayando la importancia de la dimensión temporal, puesto que para prevenir y evaluar una amplia variedad de fenómenos es pieza clave el seguimiento de su dinámica. El elenco de eventos es muy amplio. Puede tratarse de sucesos esporádicos (erupciones, incendios) o de procesos continuos (deforestación), ya sean naturales (inundaciones) o causados directamente por la actividad humana (vertidos incontrolados). Su ciclo también es muy variado, desde horas (seguimiento de un huracán, p.ej.) hasta meses o años (desertificación). En consecuencia, la selección de imágenes, las escalas de trabajo y los métodos de análisis en estudios multitemporales son también muy dispares. Simplificando las cosas, pueden señalarse dos grandes grupos de estudios multitemporales:

Cuando el objetivo principal es seguir la evolución fenológica de una determinada cubierta vegetal (cultivada o no), el énfasis se pone principalmente en estudiar su contraste estacional en un determinado período (una o varias temporadas). En consecuencia, las imágenes se adquieren a lo largo del ciclo vital de la planta, recorriendo desde el inicio del crecimiento hasta su máximo vigor y posterior senescencia. Suelen corresponder al mismo año vegetal, pero a distintas condiciones de iluminación, humedad y densidad vegetal (Lo et al., 1986; Schriever y Congalton, 1995).

Por el contrario, cuando se trata de determinar los cambios producidos entre dos fechas de referencia, de cara a evaluar la dinámica a largo plazo de un determinado fenómeno (crecimiento urbano, deforestación, expansión agrícola), las imágenes suelen adquirirse con un cierto lapso temporal (varios años), pero en la misma estación, de cara a minimizar el efecto de factores externos al cambio (Singh, 1986; Mouat et al., 1993; Eastman et al., 1994). La cadencia en el seguimiento de estos procesos depende principalmente de su dinamismo. La evaluación de los efectos de un incendio o una erupción volcánica requieren un período corto de tiempo, con objeto de paliar sus consecuencias más negativas; los cambios agrícolas precisan una estimación anual, mientras los urbanos pueden hacerse cada cinco o diez años.

REQUISITOS PREVIOS PARA EL ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Sea uno u otro el enfoque aplicado al estudio multitemporal, resulta preciso abordar previamente una serie de tratamientos sobre las imágenes de cara a garantizar su comparabilidad, tanto radiométrica como geométrica.

El ajuste geométrico entre imágenes resulta crucial en estudios multitemporales, ya que la comparación entre ellas se realiza píxel a píxel, y es imprescindible que estemos refiriendo exactamente a la misma parcela del terreno en todos los casos. De otro modo, estaríamos detectando como transformaciones lo que sería sólo fruto de una falta de ajuste entre imágenes (Gordon, 1980). Este efecto puede resultar bastante severo. En un sencillo ejercicio, hemos estimado el efecto de un desplazamiento sobre el cambio observado. Para ello, hemos desplazado artificialmente una clasificación realizada

sobre una zona forestal de la provincia de Valencia a partir de una imagen Landsat TM. La clasificación se ha desplazado un píxel hacia el oeste y el sur, comparando el resultado con el archivo de partida. En ese caso, el cambio sería debido, exclusivamente, al desplazamiento geométrico (Figura 1). Como podemos observar en la Tabla 1, el porcentaje de cambio "aparente" es bastante severo, alcanzando el 34 %. Si bien lo habitual será obtener desplazamientos menores y no tan sistemáticos, puede resultar conveniente abordar las comparaciones multitemporales a partir de una suavización previa de las imágenes, lo que haría menos trascendente los efectos de frontera. En un segundo ejercicio, hemos cruzado la clasificación original y la desplazada tras aplicarle un filtro modal de 5 x 5 píxeles (Figura 2). Como puede observarse en la Tabla 2, el cambio ficticio disminuye hasta el 19 %, aunque sigue siendo importante.

Imagen desplazada						
Imagen original		1	2	3	4	Total
	1	94	247	42	6	389
	2	251	20653	9315	897	31116
	3	43	9512	51449	15337	76341
	4	3	755	15560	27897	44215
Total	391	31167	76366	44137	152061	

Tabla 1. Efecto del desplazamiento de 1 + 1 píxel sobre una imagen clasificada.

Imagen desplazada						
Imagen original		1	2	3	4	Total
	1	98	100	30	41	269
	2	132	23556	4954	387	29029
	3	39	5196	66982	8681	80898
	4	0	259	8962	32361	41582
Total	269	29111	80928	41470	151778	

Tabla 2. Igual que en la tabla anterior, pero tras aplicarle un filtro modal de 5 x 5 píxeles (*).

(*) La no coincidencia en los totales con la tabla anterior se debe a que no se consideran en ambos casos los píxeles con clase 0, fruto del desplazamiento.

La homogeneización radiométrica también resulta crítica para comparar imágenes entre sí, puesto que los niveles digitales que definen una determinada imagen se refieren a unas condiciones específicas de adquisición (sensor, fecha, iluminación, etc.), pero no son extrapolables a otras. En consecuencia, es preciso equiparar estos valores para estar seguros de trabajar en la misma escala en todas las imágenes. Se han propuesto varias alternativas, que pueden resumirse en dos grupos: (i) convertir los valores digitales originales a variables físicas (reflectividad, temperatura del suelo, coeficiente de retro-dispersión),

o (ii) equipararlos entre imágenes. En el primer caso, es preciso acudir a modelos más o menos complejos, según cómo solventen los efectos atmosféricos y las variaciones de iluminación (Conese et al., 1993; Pons y SoléSugrañes, 1994). En el segundo enfoque basta una corrección relativa entre fechas, que puede obtenerse a partir de regresiones entre áreas invariantes de baja y alta reflectividad (sombras, aguas claras y profundas, suelos descubiertos, estacionamientos, pistas de aterrizaje), o partir de modelos atmosféricos simplificados (Caselles y López, 1989; Hall et al., 1991)

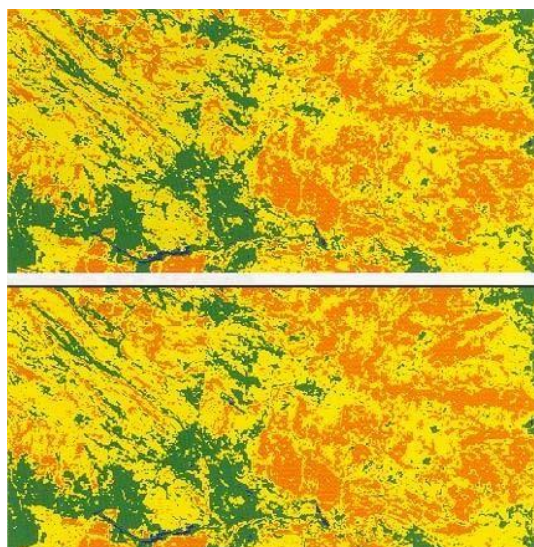


Figura 1. En la parte superior, clasificación original de una zona hipotética de estudio. En la inferior, la misma clasificación desplazada una fila y una columna.

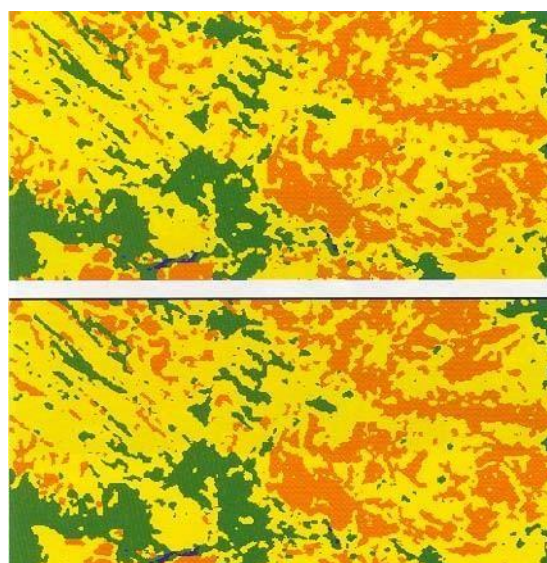


Figura 2. La misma zona que en la figura 1, tras aplicarle un filtro modal de 5 x 5 píxeles.

TECNICAS PARA EL ANALISIS ESTACIONAL

Cuando el fin último del análisis temporal es de- terminar perfiles estaciones en las cubiertas vegetales de interés, habitualmente la interpretación se realiza sobre las distintas fechas de modo simultáneo. Por ejemplo, si se pretende mejorar la clasificación de un determinado cultivo, se acude a imágenes de momentos clave dentro de su ciclo fenológico, que permitan separarlo con nitidez de otros cultivos espectralmente similares. La clasificación, en este sentido, se realiza con todas las fechas simultáneamente, ya que se pretende caracterizar una categoría a partir de curvas espectrotemporales.

Una muestra sencilla es la discriminación entre cultivos de secano, de regadío y

suelos en barbecho (Figura 3). En una imagen de verano, será sencillo separar los cultivos regados (A), pero no tanto las parcelas con cultivos secano (B) y las que descansan (C), lo que sí es factible en la primavera, aunque en esa fecha no resulte tan clara la separación entre secano y regadío. En consecuencia, será conveniente utilizar las dos fechas de modo integrado.

Como el incremento en el número de fechas implica aumentar el volumen de cálculo, ha sido bastante frecuente aplicar previamente alguna técnica de compactación, como el análisis de componentes principales o los índices de vegetación. De esa forma, pueden procesarse sólo las bandas con mayor contenido informativo, evitando redundancias innecesarias (Joly et al., 1983; Maselli et al., 1996).

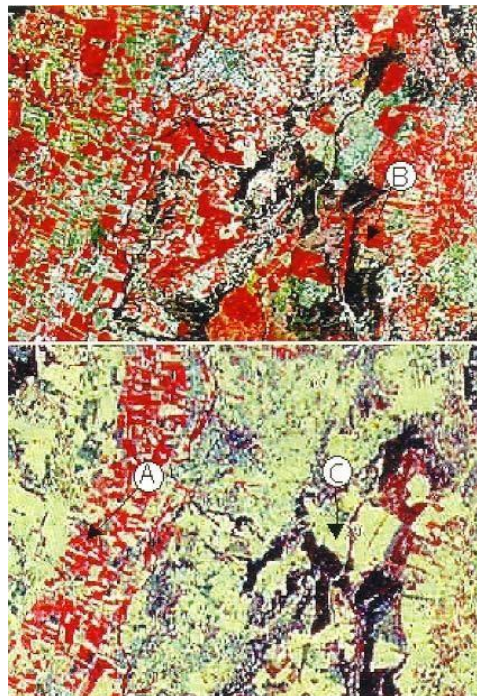


Figura 3. Imágenes de Mayo (parte superior) y Agosto (inferior) del año 2016, sobre un sector del municipio de Tabio, incluyendo los cerros que dividen al municipio de Tabio con Chía.

Un aspecto específico del análisis estacional es el seguimiento de las condiciones ambientales en un ciclo corto de tiempo. En este ámbito entraría el análisis de fenómenos atmosféricos o de las condiciones vitales de la vegetación, por ejemplo de cara a estimar demandas de riego, predicciones de rendimientos o situaciones de peligro de incendios (Figura 4). En estos casos, resulta frecuente el recurso a los satélites meteorológicos, que proporcionan la mejor resolución temporal, aunque estén limitados a escalas regionales o globales. Fruto del interés por estos trabajos es la gran expansión que han tenido las aplicaciones basadas en las imágenes NOAA-AVHRR, que, al facilitar imágenes diarias, permiten un

seguimiento muy detallado del estado de la vegetación (Millington et al., 1994). La integración de estas imágenes con información meteorológica puede enriquecer notablemente nuestro conocimiento sobre la actividad fisiológica de las plantas y mejorar los modelos existentes de productividad vegetal (Chladil y Nunez, 1995; Nemani et al., 1993).

Frecuentemente, en el análisis de estas series suelen emplearse índices relativos, que permiten medir las condiciones de un momento frente a una tendencia tipo, ya sea el máximo anual o un promedio de una serie larga. Uno de los más sencillos es el verdor (*greenness*), definido como (Kogan, 1990):

$$\text{VERDOR}_i = \frac{\text{NDVI}_i - \text{NDVI}_{\min}}{\text{NDVI}_{\max} - \text{NDVI}_{\min}} * 100$$

donde NDVI_i indica el valor del índice de vegetación para el período i , y NDVI_{\min} y NDVI_{\max} los valores máximos y mínimos de los índices en cada píxel para la serie de imágenes analizada. El verdor, en principio, está más relacionado que el NDVI absoluto con los cambios debidos a las condiciones atmosféricas, ya que se enfatiza el cambio temporal en el vigor y densidad vegetal frente a unos umbrales de variación propios de cada píxel. Este índice se ha comprobado de gran interés en la estimación del peligro de incendios

(Burgan y Hartford, 1993) o condiciones de sequía (Peters et al., 1991).

También se ha propuesto calcular el decremento temporal de los índices de vegetación, de cara a medir el efecto acumulado de las variaciones estacionales en el vigor vegetal. Una manera sencilla de obtener este índice es calcular la pendiente de la línea que define la evolución temporal del índice (Illera et al., 1996):

$$\text{PT}_i = \frac{\sum_{i=1,n} (\text{NDVI}(t_i) - \text{NDVI}(t_{i-1}))}{t_i - t_{i-1}}$$

donde PT_i indica la pendiente del período i , y t_i el período de tiempo considerado. Este índice parece bastante relacionado con las variaciones de las zonas de

inundación desde la época de lluvia hasta la época de sequía, identificando situaciones de estrés hídrico (López et al., 1991).

Otra técnica utilizada para series temporales de imágenes es el análisis de componentes principales. Los primeros componentes de una serie normalmente indican una situación promedio, mientras los componentes secundarios informan sobre aspectos del cambio que se observe en el período.

A partir de componentes principales estandarizados, se ha abordado un interesante análisis de las tendencias de la vegetación en África, sobre una serie

temporal de 36 imágenes que cubrían todo el continente. Se observó que los primeros componentes recogían la tendencia promedio, mientras los restantes marcaban algunos rasgos de interés en la fenología de la vegetación, detectando eventos anómalos de sequía, e incluso algunos errores en la adquisición de las imágenes, difícilmente detectables sobre los valores originales (Eastman y Fulk, 1993).

TECNICAS PARA DETECCION DE CAMBIOS

Como antes se indicó, existe una amplia variedad de aplicaciones en donde resulta clave la determinación de cambios, desde procesos relativamente lentos en el tiempo (desertificación, transformaciones agrarias), hasta otros que podríamos calificar de "convulsivos": inundaciones, incendios, erupciones volcánicas, etc. Estas transformaciones pueden analizarse en dos escalas de medida: continua, a partir de imágenes originales o derivadas de ellas, y categórica. En el primer caso, se aplican

técnicas aptas para variables de intervalo: diferencias, regresión, componentes principales, etc., mientras en el segundo se comparan imágenes previamente clasificadas, mediante tablas cruzadas. A continuación se repasan algunas de ellas, insertando ejemplos de interés ambiental con su ámbito de aplicación. Una revisión más detallada puede analizarse en otros lugares (Mouat et al., 1993; Chuvieco, 1996, cap. 7.3).

AMENAZAS POR INUNDACIÓN

En muchas ocasiones la interacción o intervención directa o indirecta por parte del hombre sobre el medio ambiente conlleva a que un evento se pueda convertir en un gran desastre. A continuación se citan algunas de las actividades que de una u otra forma incide en la generación de un evento desastroso. Entre las más comunes que se observan en el municipio se pueden citar las siguientes:

- Las inundaciones se presentan con más frecuencia avenidas torrenciales, en la parte más plana del municipio.
- Los deslizamientos que tienen como las principales causas el mal manejo de aguas lluvias y por deforestación en las partes altas.
- Los malos manejos de aguas lluvias y residuales, son entre otros, ejemplos claros de actividades antrópicas que favorecen la frecuencia con la cual se presentan los deslizamientos, avenida torrenciales, inundaciones, socavación de orillas y caída de rocas.
- Los incendios forestales son causados en general por una falta de cultura ambiental, vidrios tirados que en épocas de calor ocasionan conatos de incendio o directamente, por manos inescrupulosas o criminales en periodos de alta sequía.

Evaluación de la amenaza por inundación.

“Las amenazas por dinámica fluvial son localizadas pero extensas”. Las lluvias son en ocasiones la “causa primaria o disparadora de algunos desastres naturales como: inundaciones, avenidas torrenciales, deslizamientos, entre otros. Las amenazas por inundación se aceleran por los siguientes procesos morfodinámicos:

- a. Erosión fluvial:** socavación de orillas y erosión del cauce. Son procesos erosivos de carácter puntual o local y ocurre por el choque de la corriente contra las paredes que conforman el cauce o el fondo del mismo como respuesta a las modificaciones impuestas a las corrientes. Es generador de movimientos en masa pues desconfinan las laderas al remover material en la parte baja de estas y quedarse el talud sin soporte.
- b. Avenidas torrenciales y crecidas.** Este proceso de tipo mixto (degradacional – deposicional), afecta fundamentalmente las áreas de llanura aluviales y zonas de cambios de pendientes.

Zonas con amenaza por inundaciones rápidas y avenidas torrenciales.

Las zonas de transición, representadas por pendientes moderadas, constituyen el escenario de los fenómenos asociados a inundaciones rápidas y avenida torrencial. Las quebradas que descienden de las zonas escarpadas o pendientes fuertes descargan flujo turbulento en dichas zonas de transición, de ahí el carácter rápido y torrencial de los fenómenos de inundación. El municipio cuenta con contraste de geomorfológicos importantes que

favorecen la ocurrencia de este tipo de inundación. De igual modo, la ocurrencia de procesos morfodinámicos asociados a los cauces en las zonas altas promueve la disponibilidad de material provocando la torrencialidad de los fenómenos. Las áreas más susceptibles a presentar avenidas torrenciales en el municipio están definidas por la confluencia de algunos ríos y quebradas.

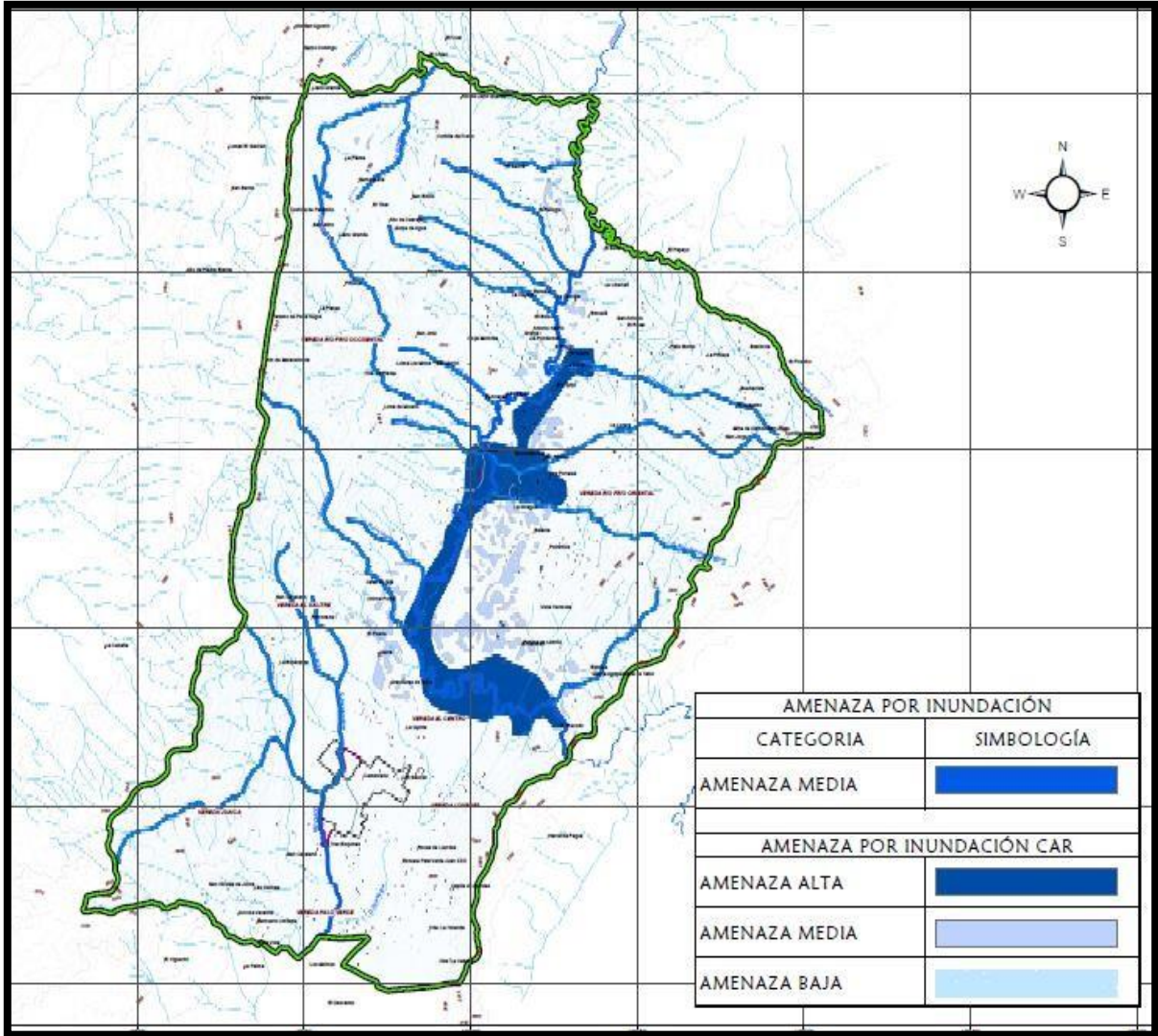
Evaluación de amenaza por Inundación

Las áreas del municipio que presentan amenaza baja por inundación, corresponde a toda la zona aledaña al Río Frío que atraviesa de norte a sur oriente el municipio y amenaza media en las zonas aledañas al Río Chicú en la vereda Juaica por el costado oriental de la vereda, que la atraviesa de occidente a suroriente y la quebrada Hoya Montosa en la vereda El Salitre.

En la Tabla No.1, se presenta la localización y el nivel de amenaza por inundación. Es de precisar que la localización es aproximada y su delimitación se define en el plano CG –01. Amenazas por Inundación.

Municipio de TABIO, Cundinamarca		
GESTION DEL RIESGO		
Tabla No. 1 Evaluación de amenaza por inundación		
Localización	Sector	Calificación de la Amenaza
Vereda Río frío occidental	Zona aledaña al Río Frío que atraviesa de norte a sur oriente en la vereda	Media
Vereda Juaica	Zonas aledañas al Río Chicú por el costado oriental de la vereda que la atraviesa de occidente a suroriente	Media
Vereda Salitre	Zona aledaña a la quebrada Hoya Montosa	Media
Vereda Lourdes	Zona aledaña al Río Frío que atraviesa de norte a sur oriente el municipio	Baja
Vereda Río frío Oriental	Zona aledaña al Río Frío que atraviesa de norte a sur oriente el municipio	Baja
Vereda del Centro	Zona aledaña al Río Frío que atraviesa de norte a sur oriente el municipio	Baja

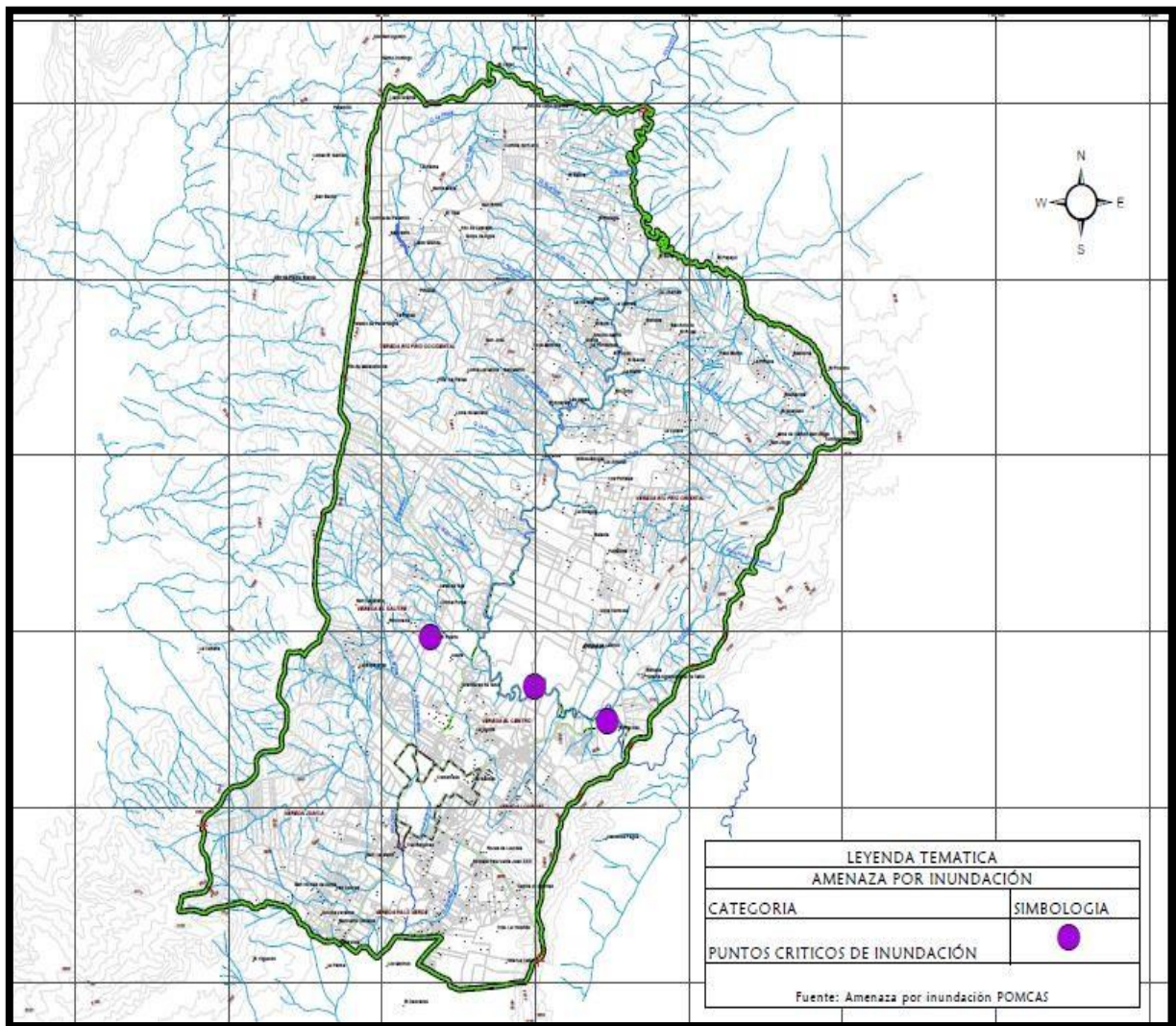
Figura No. 1 Amenazas por inundación



Fuente. Ingeniero David Leonardo Garzón Yazo., estudios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (C.A.R.) 2012

Por lo anterior se observa que el comportamiento de las áreas de inundación ocasionadas por la alta precipitación que se presenta en el área de flujo del Río Frio, de igual forma se identifican las áreas con amenaza media y baja, ocasionadas por la inundación.

Consultando el POMCA



Fuente. Ingeniero David Leonardo Garzón Yazo., estudios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (C.A.R.) 2012

Basados en el análisis evidenciado el contenido del plano anterior se determinan los puntos críticos de inundación que se presentan con más frecuencia.

1.1.1 Áreas vulnerables a inundación

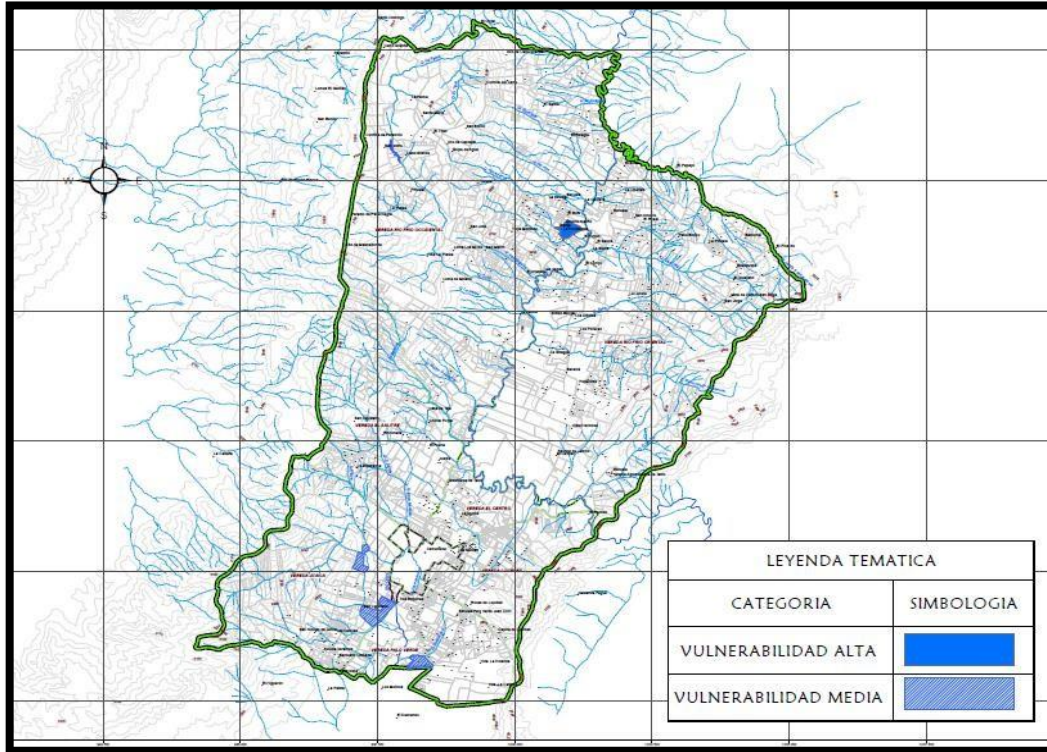
En Tabla No. 7, se presenta la localización y el nivel de vulnerabilidad por inundación. Es de precisar que la localización es aproximada y su delimitación se define en el plano CG - 07A. Vulnerabilidad por Inundación.

Esquema de Ordenamiento Territorial						
GESTION DEL RIESGO						
Tabla 7 AREAS VULNERABLES A INUNDACIONES - CAR						
TABIO	Ubicación	Sector		Tipo de Evento	Afectados	Causas
	Vereda Chicu	Laureles,	Palo Verde	Inundaciones		Mal mantenimiento de los vallados
	Vereda Salitre			Inundaciones		Tala indiscriminada del bosque nativo de la dinámica fluvial y finalmente de las variaciones de los máximos pluviales
	Centro Urbano			Inundaciones		Tala indiscriminada del bosque nativo de la dinámica fluvial y finalmente de las variaciones de los máximos pluviales Rio Frio

Fuente: CAR Plan de Acción para la Atención de la Emergencia y la Mitigación de sus Efectos – Bogotá 2011,

Esquema de Ordenamiento Territorial			
GESTION DEL RIESGO			
Tabla 7 AREAS VULNERABLES A INUNDACIONES			
TABIO	Ubicación		VULNERABILIDAD
	Centro poblado el Bote		Alta
	Centro poblado Carrón, Primavera y Termales		Media

Figura No. 8 Vulnerabilidad por Inundación



Fuente. Ingeniero David Leonardo Garzón Yazo., estudios de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (C.A.R.) 2012

Dentro del mismo análisis se pudo identificar zonas de inundación que se presenta por la alta precipitación y la mala infiltración de los suelos de acuerdo con el análisis.

CAMBIO CLIMATICO

Las inundaciones se ven relacionadas con el cambio climático y la alteración de las épocas de sequía y de altas lluvias como se ve relacionado con el comportamiento meteorológico,

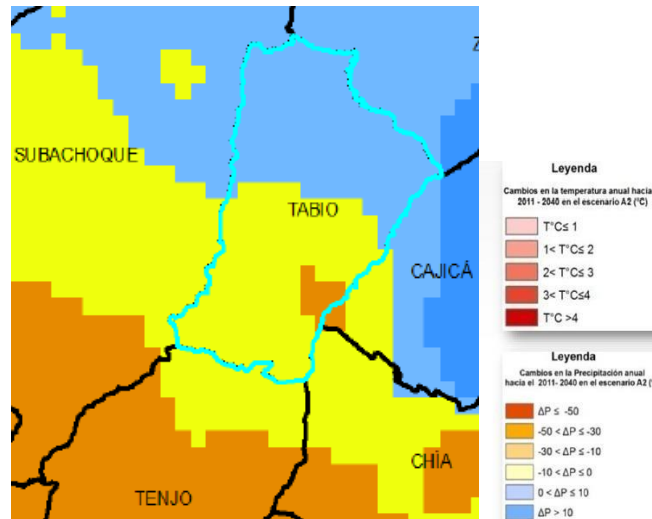


Imagen raster satélite NOVA 2016. Fuente. Ingeniero David Leonardo Garzón Yazo.

CONCLUSIONES

- Es prudente determinar normativa de protección y restricción en las áreas de inundación identificando plenamente los sectores que se encuentran en riesgo para prevenir los posibles daños, pérdidas materiales e humanas.
- He instalar equipos de control para controlar el comportamiento del cauce del Río Frio.

RECOMENDACIONES

- Instalar barreras protectores con planes de revegetalización y mantener constante monitoreo en las áreas vulnerables de inundación

REFERENCIAS

- BURGAN, R. E. y R. A. HARTFORD. 1993. Monitoring Vegetation Greenness with Satellite Data. Ogden, Utah, USDA Forest Service.
- BYRNE, G. F., P. F. CRAPPER y K. K. MAYO. 1980. Monitoring land-cover change by Principal Component analysis of multitemporal Landsat Data. *Remote Sensing of Environment* 10: 175-184.
- CASELLES, V. y M. J. LÓPEZ. 1989. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *International Journal of Remote Sensing* 10: 1127-1134.
- CHLADIL, M. A. y M. NUNEZ. 1995. Assessing grassland moisture and biomass in Tasmania. The application of remote sensing and empirical models for a cloudy environment. *International Journal of Wildland Fire* 5: 165-171.
- CHUVIECO, E. 1996. Fundamentos de Teledetección multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 32: 918-927.
- CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA CAR. Resolución no. 2358 del 16 de octubre de 2014, por Medio de la cual se determina la ronda de protección del río frío.
- EASTMAN, J. R., J. MCKENDRY y M. FULK. 1994. UNITAR Explorations in GIS Technology, vol. 1: Change and Time Series Analysis. Geneva, Switzerland.
- EASTMAN, R. y M. FULK. 1993. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59: 1307-1312.
- FUNG, T. y E. LEDREW. 1987. Application of principal components analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53: 1649-1658.
- FUNG, T. y E. LEDREW. 1988. The determination of optimal threshold levels for change detection using various accuracy indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54: 1449-1454.
- GORDON, S. I. 1980. Utilizing Landsat imagery to monitor land use change: a case study in Ohio. *Remote Sensing of Environment* 9: 189-196.
- GROVER, K. D., S. QUEGAN, C. C. F. YANASSE y L. V. DUTRA. 1995. Potencial Use of ERS-1 in Tropical Forest Monitoring. A study of the Tapajós National Forest, Brazil. *Earth Observation Quarterly* 48: 12-15.
- ILLERA, P., A. FERNÁNDEZ y J. A. DELGADO. 1996. Temporal evolution of the NDVI as an indicator of forest fire danger. *International Journal of Remote Sensing* 17: 1093-1105.
- JOLY, G., F. VERGER y J. P. CRETEZ. 1983. Classification des données Landsat unitemporales et multitemporales par la transformation de Karhunen-Loève. Application à l'Anse de l'Aiguillon. *L'Espace Géographique* 2: 125-141.
- KOGAN, F. N. (1990). Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing* 11: 1405-1419.
- LO, T. H. C., F. L. SCARPACE y T. M. LILLESAND. 1986. Use of multitemporal spectral profiles in agricultural land-cover classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 52: 535-544.
- LÓPEZ, S., F. GONZÁLEZ, R. LLOP y J. M. CUEVAS. 1991. An evaluation of the utility of NOAA AVHRR images for monitoring forest fire risk in Spain. *International Journal of Remote Sensing* 12: 1841-1851.
- MARTIN, L. R. G. y P. J. HOWARTH. 1989. Change-

- detection accuracy assessment using SPOT multispectral imagery of fue rural-urban fringe. *Re- mote Sensing of Environment* 30: 55-66.
- MARTÍN, M. P. y E. CHUVIECO. 1995. Mapping and evaluation of burned land from multitemporal analysis of AVHRR NDVI images. *EARSel Advances in Re- mote Sensing* 4 (3): 7-13.
- MASELLI, F., L. PETKOV, G. MARACCHI y C. CONESE. 1996. Eco-climatic classification of Tus- cany through NOAA-AVHRR data. *Intemational Journal of Remote Sensing* 17: 2369-2384.
- MILLINGTO8N, A. C., J. WELLENS, J. J. SEITL y R. J. SAULL: 1994. Explaining and monitoring land- cover dynamics in drylands using multi-temporal ana- lysis of NOAA-AVHRR imagery. *Environmental Remote Sensing from Regional to Global Scales*. (G. M. Foody y P. J. Curran, Eds.). Chichester, John Wi- ley & Sons: 16-43.
- MOLINA, Z. 1998. Análisis de calidad ambiental de vida para la ciudad de Maracay (Venezuela) usando la teledetección y los S.I.G. Departamento de Geografía. Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá: 380.
- MOUAT, D. A., G. G. MATTIN y J. LANCASTER. 1993. Remote sensing techniques in the analysis of change detection. *Geocarto International* 8: 39-50.
- NEMANI, R. R., L. PIERCE, S. W. RUNNING y S. EDWARD. 1993. Developing satellite-derived esti- mates of surface moisture status. *Journal oi Applied Meteorology* 32: 548-557.
- PETERS, A., D. C. RUNDQUIST y P. A. WILHITE. 1991. Satellite detection of the geographic core of the 1988 Nebraska drought. *Agricultural and Forest Me- teorology* 57: 35-47.
- FaNS, X. y L. SOLÉ-SUGRAÑES. 1994. A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data. *Remote Sensing of Environment* 48: 191-204.
- RICHARDS, J. A. 1984. Thematic mapping from multitemporal image data using the Principal Compo- nents Transformation. *Remote Sensing oi Environ- ment* 16: 35-46.
- SCHRIEVER, J. R. y R. G. CONGALTON. 1995. Evaluating seasonal variability as an aid to cover-type mapping from Landsat Thematic Mapper data in the Northeast. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61: 321-327.
- SILJESTROM, P. y A. MORENO. 1995. Monitoring burnt afeas by principal components analysis of multitemporal TM data. *Intemational Journal of Re- mote Sensing* 16: 1577-1587.
- SINGH, A. 1986. Change detection in the tropical forest environment of Northeastern India using Landsat. *Remote Sensing and Tropical Land Management*. (M. J. Eden y J. T. Parry, Eds.). Chichester, John Wiley: 237-254.
- VARGAS, F. F. y E. CHUVIECO. 1991. Dinámica de la deforestación en regiones tropicales a partir del análi- sis multitemporal de imágenes SPOT. *Teledetección y Medio Ambiente*. Sevilla, Junta de Andalucía: 70-76.