

# ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE INUNDACIÓN EN PUERTO CARREÑO

**AUTOR**

**JULIÁN ANDRÉS MORENO CALDERÓN**  
Ingeniero Topográfico



La U  
**acreditada**  
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA  
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DICIEMBRE DE 2018**

## TABLA DE CONTENIDO

1.	CONTEXTO.....	3
2.	PROBLEMA.....	4
3.	DESARROLLO.....	5
4.	OBJETIVOS .....	6
5.	REFERENCIAS.....	7

## **1. CONTEXTO**

El propósito principal es realizar un análisis multitemporal del cambio de áreas inundables en la zona de estudio en el municipio de Puerto Carreño a partir de imágenes de radar en un periodo de noventa días. La zona de interés se encuentra al sudoeste del centro poblado del municipio y está rodeada por dos ríos con caudales de importancia: río Meta y río Orinoco y, un tercero de menor tamaño que atraviesa el municipio: río Bitá.

## 2. PROBLEMA

La inundación desde el punto de vista social y económico es un riesgo natural de alto impacto. Sus consecuencias pueden llegar a ser cuantiosas en vidas y en bienes materiales como se ha evidenciado en las catástrofes de los últimos años en el país. El avance urbano descontrolado sobre zonas inundables o en riesgo de inundación, por desconocimiento u omisión, ha puesto en peligro a comunidades enteras.

Las inundaciones pueden abarcar grandes extensiones de terreno, por esta razón, el trabajo de campo para determinar áreas de afectación es, en la mayoría de los casos, complejo: en Colombia el difícil acceso, el orden público y la seguridad son características limitantes e inherentes de las zonas inundadas o inundables. A través del uso de la teledetección se da solución a estos inconvenientes logísticos y así se puede observar, estudiar y evaluar este fenómeno. Sin embargo, sensores pasivos no solventan el problema de la nubosidad presente la mayoría del tiempo en el país. Es aquí donde los sensores activos toman relevancia.

El municipio de Puerto Carreño es propenso a las inundaciones en épocas de lluvias, (las cuales se presentan especialmente en los meses de mayo a septiembre), debido a que se encuentra en la riberas de los ríos Meta y Orinoco: el tercer río más caudaloso del mundo después del Amazonas y del Congo. Los cultivos, (principalmente algodón, yuca y plátano), la ganadería y el comercio son los más afectados.

Entre mayo y junio de 2018 hubo un comportamiento atípico en la temporada de lluvias y se presentó una creciente en el río Meta y por consiguiente en el río Orinoco alcanzando un nivel de 16,32 m lo que produjo la inundación más grande en la historia del municipio, obligando a la administración a declarar estado de emergencia.

Esto evidencia la necesidad de estudiar el comportamiento de dichas zonas, identificarlas y dar así un uso más seguro y razonable al suelo.

### 3. DESARROLLO

#### Ubicación de la zona de estudio

Puerto Carreño es la capital del departamento del Vichada. El municipio tiene una extensión de 12.409 Km<sup>2</sup> y se encuentra ubicado en la frontera con Venezuela. Se caracteriza por limitar al norte con el río Meta y al este con el río Orinoco. Su altura promedio es de 51 m.s.n.m.m. Tiene una presipitación promedio anual de 173 mm, en donde los meses de mayo a septiembre, presentan la mayor cantidad de lluvia.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitación (mm)	10	23	32	124	246	410	398	327	207	175	92	30

Imagen 1. Presipitación media mensual Puerto Carreño

El zona de estudio consta de 2320,6 Km<sup>2</sup>. Se encuentra ubicada en el extremo nordeste del municipio, sobre la vega adyacente a la cabecera municipal, la cual por su cercanía a la convergencia de los ríos es más tendente a inundaciones.



Imagen 2. Localización del área de estudio en el municipio.

#### Clasificación Orientada a Objetos

Este estudio está orientado a analizar el cambio de área inundable en la zona de estudio a partir de dos imágenes de RADAR SAR con una diferencia de fecha de toma de tres meses (enero y marzo) por el método de Clasificación Orientada a Objetos a través del software Focus-Geomatics. El proceso se dividió en nueve pasos que se ilustran a continuación:



Imagen 3. Flujo de trabajo

### Importación de imágenes

El primer paso en el proceso fue la importación de las imágenes de extensión SAFE desde el software Geomatics Focus a través del algoritmo SARINGEST (para datos SAR) usando calibración radiométrica por retrodispersión.

### Características de las imágenes

Sensor: Sentinel 1B

Modo de toma: IW Interferometric Wide

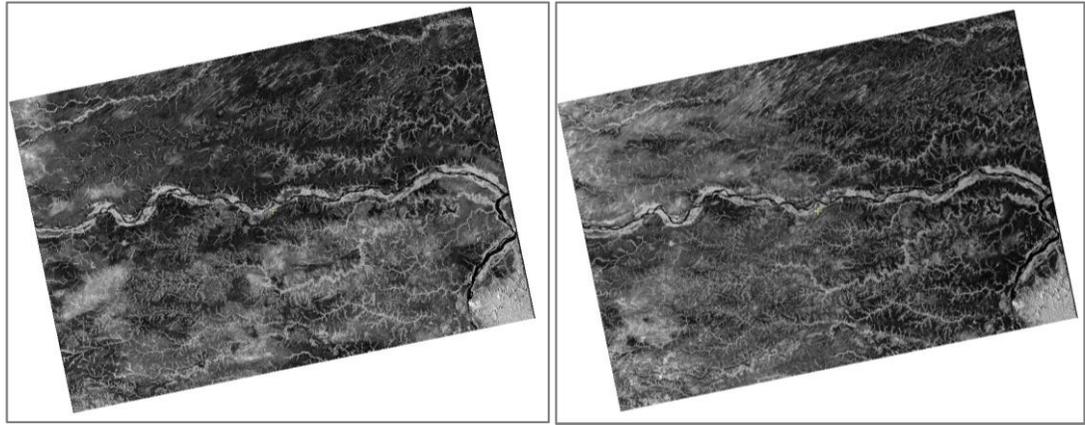
Resolución: 10 metros nominal

Proyección: UTM 19 N

Datum: WGS84

Nombre del nivel de procesamiento: GRD de alta resolución

Fechas de toma: 18 de enero y 7 de marzo de 2018



Imáge 4. Imágenes importadas.

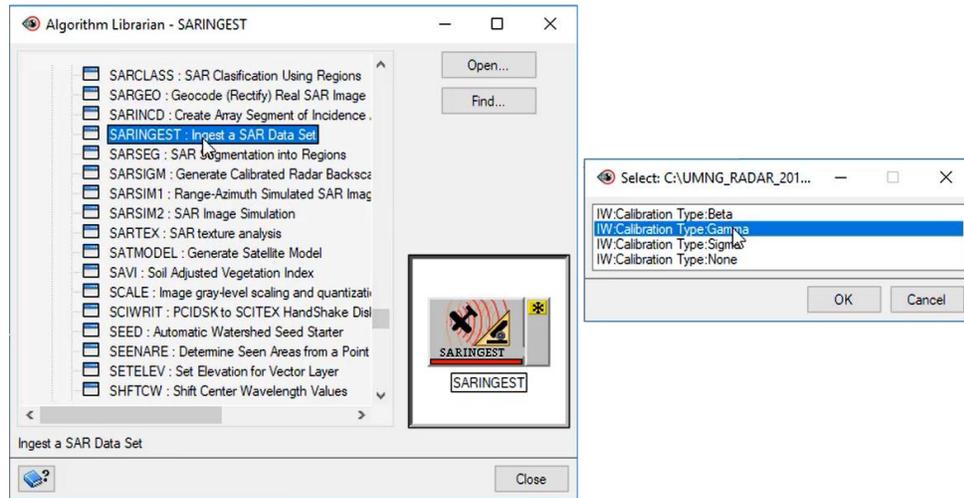


Imagen 5. Algoritmo SARINGEST-Focus Geomatics

## Ortorrectificación

La ortorrectificación se llevó a cabo a partir de las imágenes importadas en el paso anterior. Inicialmente cada una de las imágenes contenía la siguiente información técnica: Canales o polarizaciones, GCP (Ground Control Points), datos de orbita (Orbit Segement), coeficientes de racionamiento polinomiales (Rational Functions Model Segments), y ángulos de incidencia (Incidence Angle Array). El modelo matemático usado para la rectificación fue Radar Satellite Modelling – Toutin’s Model. Se usó un modelo digital de elevación DEM previamente editado y que

cubría la región de interés y, se tomaron once puntos de control en ambas imágenes distribuidos en toda la imagen.

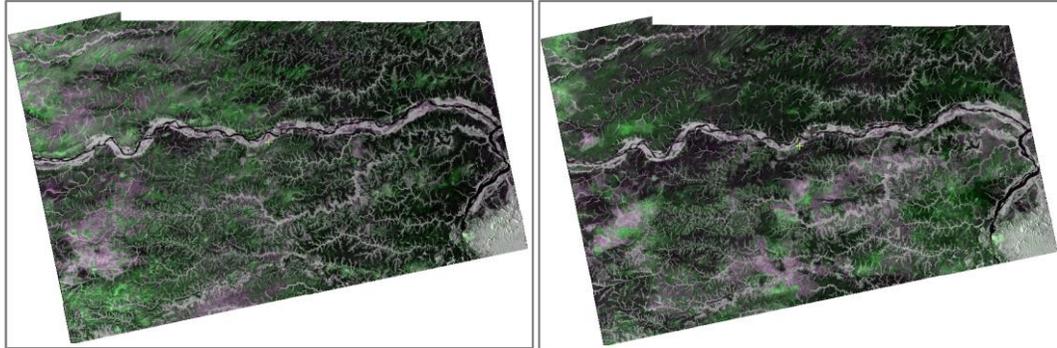


Imagen 6. Imágenes ortorectificadas.

### **Segmentación**

La segmentación es un proceso en el cual, como bien lo dice su nombre, se realiza una fragmentación en pequeños polígonos sobre una capa vectorial con base en el Coeficiente de Retrodispersión. El Coeficiente de Retrodispersión se relaciona con la constante dieléctrica y el contenido de humedad y con características geométricas tales como la morfología y rugosidad de los objetos. La constante dieléctrica influye en la capacidad de los materiales de absorber, reflejar y transmitir la energía de las microondas. En general, la constante dieléctrica de los materiales secos varía entre 3 y 8, mientras que la del agua alcanza un valor de 80, por lo cual la presencia de humedad, ya sea retenida en el suelo o en la cubierta vegetal, contribuye a aumentar la constante dieléctrica, alterando significativamente la señal de retorno. La respuesta de las superficies observadas por el radar aumentará junto con el contenido de humedad. <sup>1</sup>

Para la segmentación se usaron las dos polarizaciones de la imagen, un filtro adaptativo para realzar bordes: Enhanced Lee, un tamaño de filtro de 9x9 píxeles y un recorte en las colas de los histogramas del 15%. En los parámetros para la creación de los polígonos se usó escala de de 40, se asignó un peso sobre las formas de 0,9 y 0.5 en compatación.

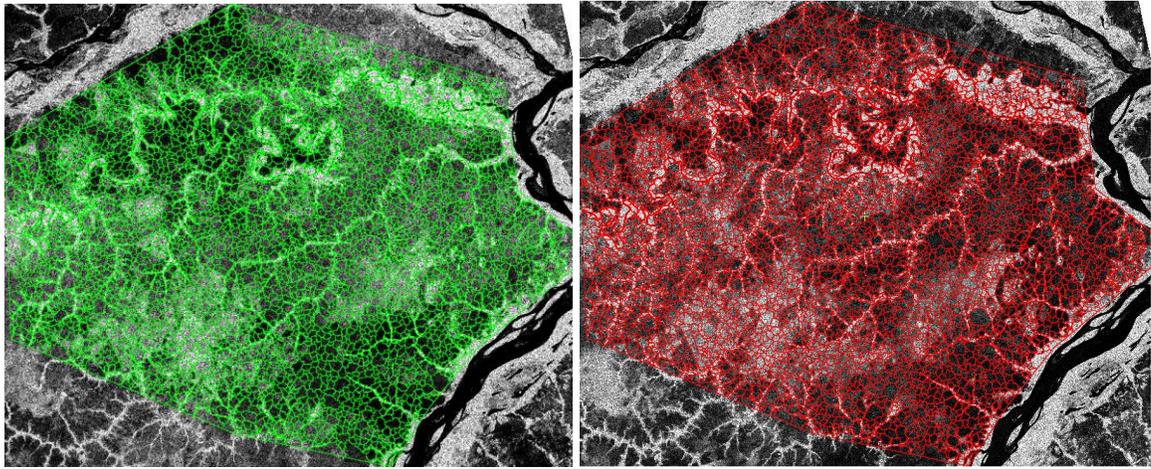


Imagen 7. Segmentación

### Cálculo de atributos

En este paso se calcularon los atributos estadísticos (valor mínimo, máximo, media y desviación estándar), geométricos (compactación, elongación, circularidad y rectangularidad) y de textura (media, desviación estándar, entropía, segundo momento angular y Cal contraste) de los polígonos creados en el paso anterior en cada polarización (VV y VH), lo que nos permite mejorar la interpretación de las clases que se tomaron en la etapa de entrenamiento (siguiente paso). Para este caso no se tuvieron en cuenta los atributos geométricos y se usó un tamaño de ventana de 9x9.

Mean_VV	StdV_VV	Mean_VH	StdV_VH	SAR_Tex_Mean_9_VV	SAR_Tex_Std_9_VV	SAR_Tex_Ert_9_VV	SAR_Tex_Ang2m_9_VV	SAR_Tex_Corr_9_VH	SAR_Tex_Mean_9_VH	SAR_Tex_Std_9_VH	SAR_Tex_Ert_9_VH	SAR_Tex_Ang2m_9_VH	SAR_Tex_Corr_9_VH
0.132776	0.0823354	0.024853	0.020922	23.1153	5.71995	4.7455	0.0212076	30.7994	23.9726	4.75488	4.67898	0.0197971	20.9054
0.165293	0.0782038	0.0170361	0.0214962	23.8884	6.00341	4.87841	0.0182177	23.6278	28.296	4.48022	4.12124	0.0263695	18.3489
0.0141824	0.0251947	0.00679823	0.00579195	9.50749	5.12888	4.82822	0.0173799	26.1554	10.0659	4.65882	4.50027	0.0144213	22.0163
0.049598	0.0283556	0.00958953	0.00959466	13.6708	6.15225	5.26295	0.019875	34.3172	14.0125	5.02727	5.08371	0.0121219	26.9231
0.021196	0.0461671	0.0104339	0.0109676	13.8644	5.89961	5.03449	0.0133833	20.7837	13.3496	5.8333	5.66001	0.0126332	24.9784
0.0796537	0.065858	0.0174525	0.017076	17.1737	6.65647	5.12006	0.0137841	36.8931	17.1139	5.64596	5.01812	0.0146502	26.5761
0.0178525	0.009388	0.00413952	0.0029191	4.09454	2.85033	4.09702	0.002189	9.26044	6.23915	3.78631	4.74412	0.0163113	16.782
0.054976	0.0282348	0.0142918	0.0086279	14.8111	5.7629	5.2958	0.0107843	35.544	17.7136	4.81177	5.02022	0.0128819	28.1081
0.00712	0.0189582	0.0044703	0.00392856	4.94388	3.43058	4.02786	0.0088073	13.1074	6.37077	3.91439	4.58576	0.0198838	16.5128
0.0257269	0.0189398	0.0058971	0.00330197	6.7853	4.13959	4.50651	0.0217824	16.959	7.89609	4.33109	4.31163	0.0149382	18.8862
0.158177	0.075814	0.0179798	0.022829	19.8883	8.22348	5.22811	0.0119867	44.6688	20.8996	7.28652	5.88139	0.0147782	33.016
0.003907	0.0176359	0.00712582	0.00521987	8.84321	4.78864	4.86893	0.0153786	22.1132	10.7122	4.9001	5.02053	0.0127785	22.936
0.012661	0.0074432	0.00279983	0.00185384	2.32984	2.04327	3.3882	0.0631271	4.9877	3.48675	3.07686	4.05889	0.0140151	10.636
0.114343	0.0797848	0.0287448	0.0205784	21.2276	6.19676	4.98817	0.0175345	33.3816	21.629	5.37953	4.88897	0.0178427	23.8923
0.036493	0.0186952	0.00188702	0.00298883	10.1676	4.88631	5.11842	0.0118317	27.6782	14.9732	4.80772	5.08833	0.0123949	28.9783
0.0235453	0.01711	0.00518019	0.00417795	6.07364	3.88374	4.38826	0.0287383	16.1209	7.68884	4.27343	4.72023	0.0180426	18.7634
0.042676	0.0181143	0.00568426	0.00401987	6.29711	4.03096	4.54829	0.0209125	16.7048	8.0741	4.48874	4.50293	0.013881	20.32
0.064995	0.020323	0.0181303	0.011882	16.7805	5.88399	5.24514	0.0119991	26.9802	19.7629	4.84764	4.97934	0.0138446	24.1042
0.024973	0.0121088	0.00708344	0.00382796	6.38893	3.73171	4.62713	0.018176	14.9516	11.0474	4.41354	4.9712	0.0102071	21.9261
0.117945	0.0834029	0.0288116	0.0211959	20.9841	6.39722	4.96947	0.0188086	30.7442	22.2771	5.43198	4.8971	0.0162708	24.3099
0.119141	0.0782973	0.0259994	0.0182459	21.188	6.29111	5.01886	0.0163102	26.0431	21.8528	4.91841	4.91861	0.0152176	23.3348
0.0516915	0.0260262	0.0144429	0.00883897	14.2007	5.87486	5.22742	0.0198454	32.8512	18.0636	4.74662	5.0253	0.0127884	24.993
0.079922	0.0388085	0.0223952	0.0114362	19.6737	5.73338	5.18743	0.0148959	36.4104	22.4809	4.42253	4.83336	0.0147327	22.1154
0.012304	0.0118369	0.0040119	0.0027846	5.37634	3.72648	4.42807	0.0224881	14.1126	5.80391	4.8362	4.65744	0.01803	16.2677
0.046871	0.0159344	0.00399038	0.00286803	6.47875	4.05156	4.56048	0.0208002	16.8487	5.90796	3.8647	4.60887	0.0187367	15.0206
0.0229268	0.0142395	0.00951101	0.00435174	5.72939	3.46192	4.36577	0.0258465	14.2968	8.72001	4.16785	4.81354	0.0156428	19.1139

Imagen 8. Cálculo de atributos

### Entrenamiento

En este paso se generan clases de distribución para los polígonos con el fin de alimentar el modelo de clasificación supervisada que se realizó en el siguiente

paso. En este caso en particular se usaron 4 clases: Inundación, Bosque, Pastos y Cultivos.

Las imágenes de radar pueden revelar a través del tono y la textura, aspectos vinculados a la rugosidad de los materiales superficiales, dado que la rugosidad de la superficie incide directamente en la intensidad de la señal de retorno, la cual aumenta al aumentar la rugosidad. Esta rugosidad se resuelve en relación con la longitud de onda de la señal y el ángulo de inclinación del haz de radar. Siguiendo el criterio de Rayleigh, a igual rugosidad del terreno, éste aparecerá como más liso para longitudes de onda mayores y/o ángulos de incidencia mayores (observación más oblicua). Si una superficie es lisa para el radar, casi toda la energía incidente es reflejada hacia fuera (reflexión especular) y la señal de retorno es nula, por lo cual las unidades de grano más fino o más finamente disectadas aparecen carentes de textura y más oscuras en las imágenes: cuerpos de agua. A medida que una superficie se vuelve rugosa la energía incidente comienza a dispersarse en todas direcciones (reflexión difusa) y parte de ella es retrodispersada de vuelta hacia el radar. A medida que el tamaño de grano aumenta, las unidades se vuelven más texturadas y brillantes en las imágenes. <sup>2</sup>

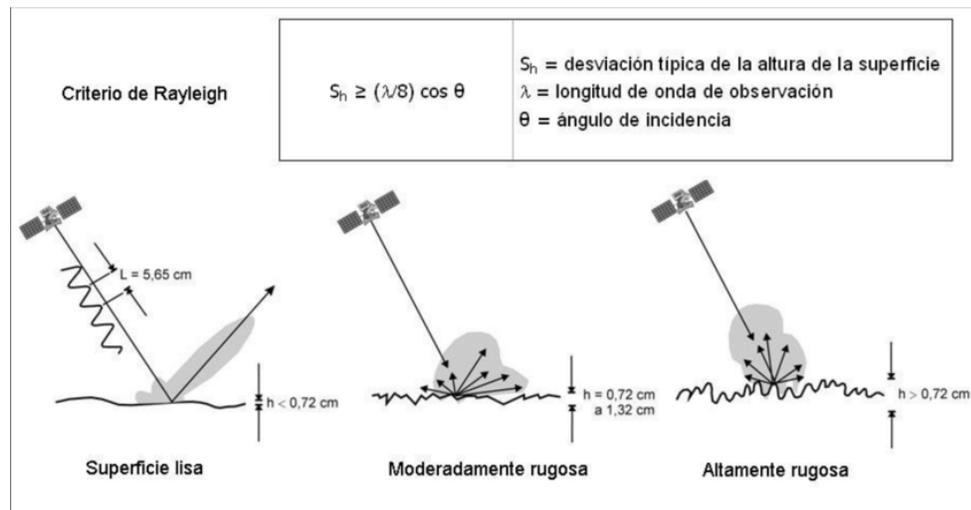


Imagen 9. Criterio de Rayleigh

Las imágenes de radar de una misma zona pueden ofrecer información muy diferente en función de la dirección de iluminación (modo ascendente o descendente, mirada a la derecha o a la izquierda) y de la inclinación del haz de microondas que modifican las condiciones de iluminación de las superficies observadas. Asimismo, la geometría del terreno, sus pendientes y orientaciones, condiciona el ángulo de incidencia local de la señal del radar con un efecto

significativo en la señal de retorno.<sup>3</sup> Las imágenes usadas en este análisis tienen el mismo ángulo de incidencia.

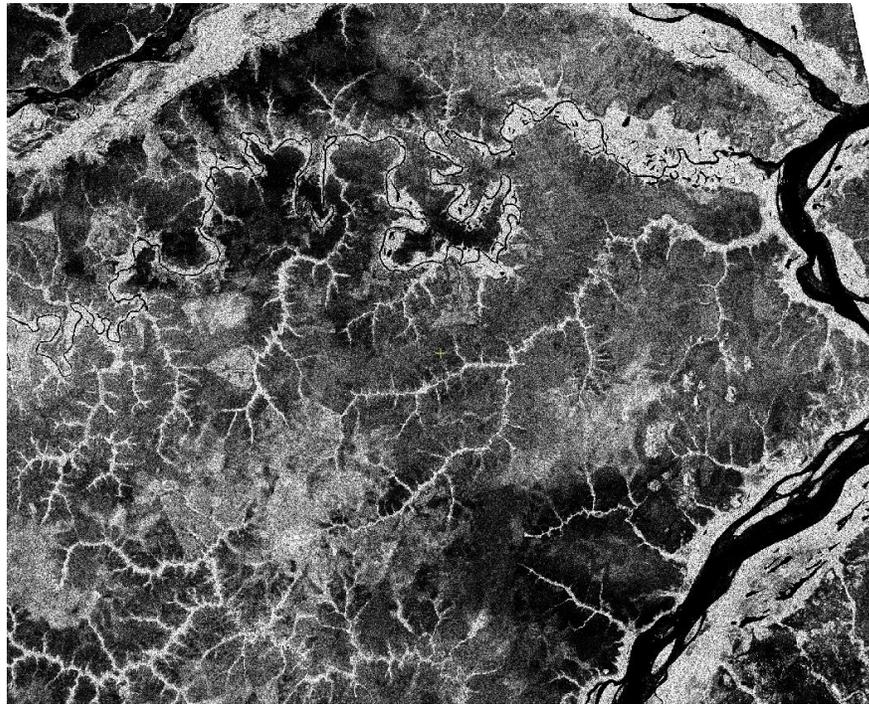


Imagen 10. Imagen zona de estudio

En resumen, alta retrodispersión indica zonas de bosque y áreas secas, mediana retrodispersión zonas húmedas y muy baja retrodispersión (superficie lisa) en los cuerpos de agua.

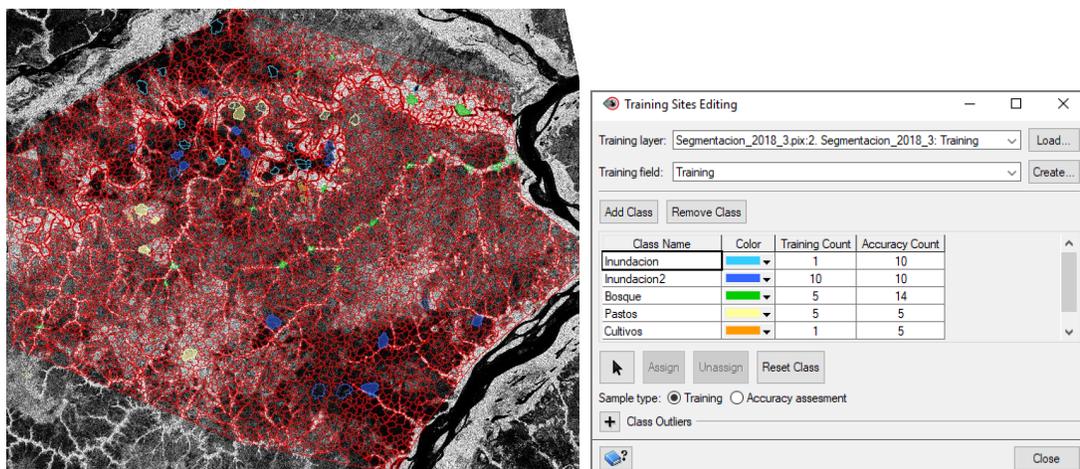


Imagen 11. Sitios de entranamiento - Análisis de textura- exactitud temática

## Clasificación Supervisada

Lo que se obtuvo en este paso es una clasificación automática de todos los polígonos con base en el entrenamiento y las clases agregadas en el paso anterior. En la clasificación se usó método radial. En la primera imagen (abajo a la izquierda) se puede ver en color oscuro las zonas inundadas y en color más claro las zonas secas (boscosas y/o pastos). En la segunda imagen se puede observar en color verde las zonas de pastos, en rosado las zonas de bosques y en azul oscuro las zonas de inundación.

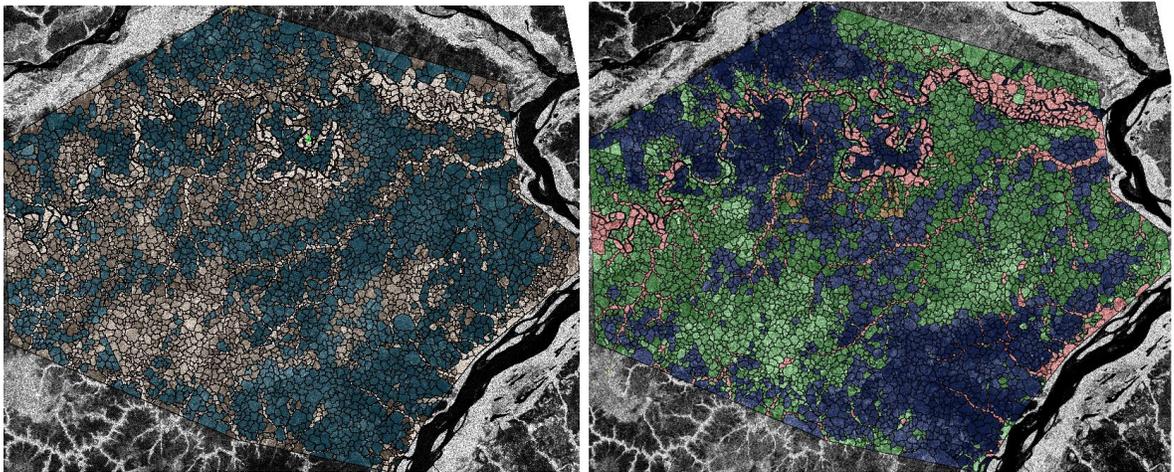


Imagen 12. Clasificación Izq. 2018-1, Der. 2018-3

## Exactitud temática

La exactitud temática es el resultado estadístico de la clasificación mostrada en valores entendibles:

### Matriz de Error

Classified Class	Pastos	Inundacion	Inundacion2	Bosque	Cultivos	Cultivos2	Total (User)
Pastos	0	0	0	1	1	0	2
Inundacion	0	0	0	0	0	0	0
Inundacion2	0	3	3	1	0	0	7
Bosque	0	0	0	7	0	1	8
Cultivos	0	0	1	0	0	0	1
Cultivos2	4	0	0	0	3	0	7
Unknown	0	0	0	0	0	0	0
Total (Producers)	4	3	4	9	4	1	25

## Estadísticas de Precisión

Overall Statistics	Value
Overall Accuracy(%)	80
95% Confidence Interval-	68,796
Overall Kappa Statistic	0,858893
Quantity Disagree(%)	36
Allocation Disagree(%)	23,999998

## Edición - Post Clasificación

La clasificación no es completamente acertada, es normal que algunos de los polígonos hayan sido asignados a la clase incorrecta. Para corregir esto, se hizo una post edición sobre la clasificación, asignado, cortando, combinando y cambiando clases a los polígonos según corresponda, refinando el resultado.

## Disolución de polígonos

La disolución de polígonos es parte de la post clasificación. En este paso lo que se busca es la unificación de los polígonos generados en la segmentación en uno o pocos con el fin de poder analizarlos. Con el producto final se exportó a un archivo SHAPE de ESRI.

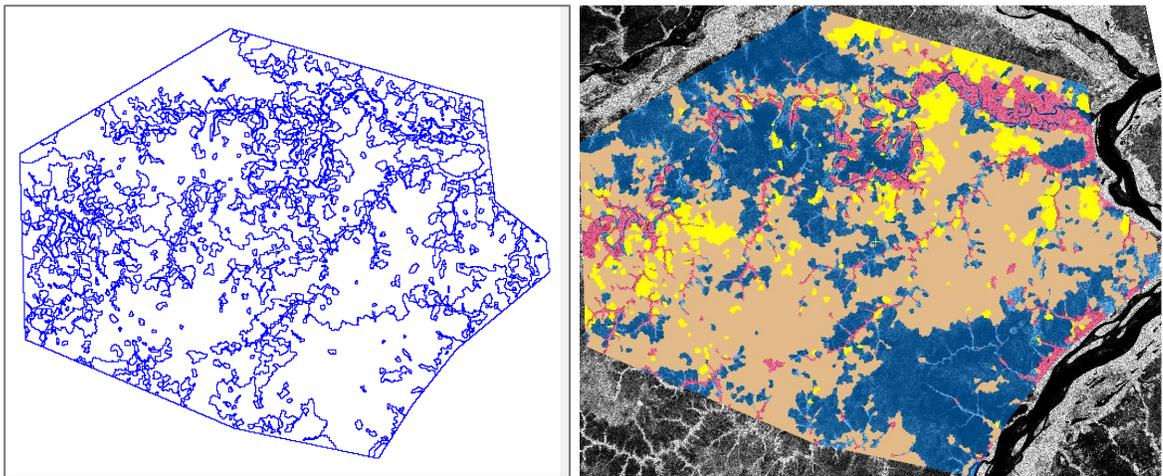


Imagen 13. Disolución de polígonos.

## Cálculo de áreas. Conclusión.

Una vez hecha la disolución, con el archivo SHAPE se procedió a realizar el cálculo de las áreas de los polígonos en ArcMap:

Imagen	Tipo	Km <sup>2</sup>	ha
2018-3	Inundado	1.176,7643673	117.676,4
	Seco	1.143,8284327	114.382,8
2018-1	Inundado	977,0755698	97.707,6
	Seco	1.343,5433233	134.354,3

Imagen 14. Calculo de áreas.

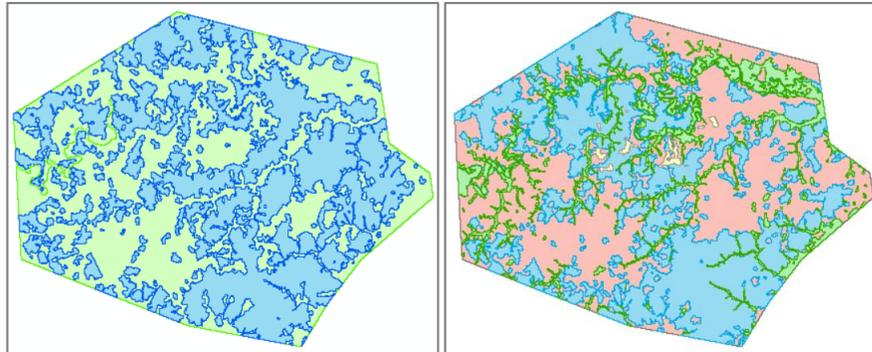


Imagen 15. Cálculo de áreas. Izq. 2018-1, Der. 2018-3

Se pudo concluir que en marzo de 2018 las zonas inundadas incrementaron 20 ha con respecto el mes de enero y que, como era de esperar, las zonas secas se redujeron un tanto igual. Lo cual tiene sentido teniendo en cuenta el histograma de precipitación para los meses estudiados. Las zonas más propensas a inundación son las adyacentes a los ríos, como era de esperar, sin embargo, el río Bitá (afluente del río Orinoco) presenta un comportamiento contrario: sus riveras se mantienen estables.

Tipo	ha
Zonas inundadas	19.968,9
Zonas secas	-19.971,5

Image 16. Diferencia total entre imágenes (ha).

En la imagen 17 se puede ver la sustracción de ambas imágenes: el color azul indica lo que antes estaba inundado y ahora se encuentra seco, y el color magenta lo que antes estaba seco y ahora está inundado.

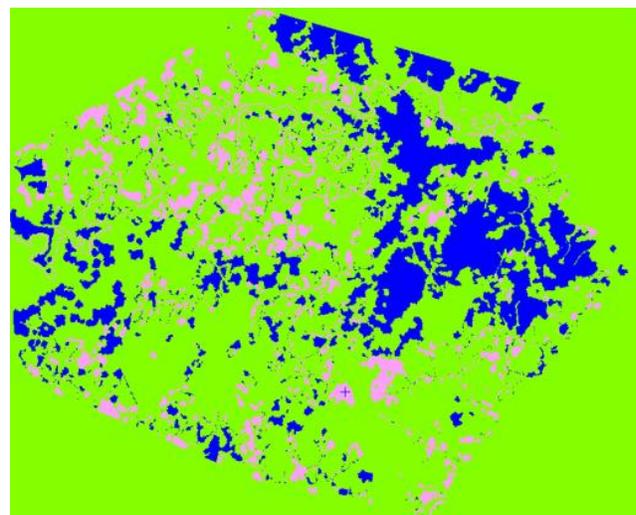


Imagen 17. A1-B1

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

Analizar las zonas de inundación de un área aledaña al centro poblado de Puerto Carreño, Colombia.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar ortorrectificación de las imágenes.
- Realizar clasificación orientada a objetos a las imágenes.
- Realizar el cálculo de áreas inundadas y secas.

## 5. REFERENCIAS

- Ideam, Cartas climatológicas – medias mensuales Puerto Carreño, Recuperado de <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/carreno/precipitacion.htm>
- Informe final MIRA, Inundación en Puerto Carreño 25-26/09/2018, Recuperado de [https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/assessments/26092018\\_informe\\_final\\_mira\\_vichada\\_vf.pdf](https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/assessments/26092018_informe_final_mira_vichada_vf.pdf)
- Informe local alcaldía municipal de Puerto Carreño, Calamidad pública 2018 Recuperado de <http://www.puertocarreno-vichada.gov.co/NuestraAlcaldia/SalaDePrensa/Paginas/Inundaci%C3%B3n-Puerto-Carre%C3%B1o-2018.aspx>
- Advances in SAR: Sensors, Methodologies, and Applications, Recuperado de <https://www.mdpi.com/books/pdfview/book/799>
- La teledetección por radar como fuente de información litológica y estructural. Análisis espacial de imágenes SAR de RADARSAT-1, Recuperado de <sup>1 2 3</sup> [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1852-77442014000100007](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-77442014000100007)
- Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética (Synthetic Aperture Radar SAR), Erika Podest, Noviembre 2017. Recuperado de [https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/water/Brazil\\_2017/Day1/S1P2-span.pdf](https://arset.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/water/Brazil_2017/Day1/S1P2-span.pdf)