



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA GEÓGRAFA EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS PARA LA
DELIMITACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIÓN, UTILIZANDO
IMÁGENES SATELITALES ÓPTICAS Y DE RADAR. CASO DE ESTUDIO: CANTÓN
SAMBORONDÓN.**

NOMBRE

MARÍA SALOMÉ VERDUGA LÓPEZ

DIRECTOR

MTR. GALO MANRIQUE

QUITO, 2017

ÍNDICE

Tabla de Contenido

ÍNDICE	ii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	v
ÍNDICE DE ESQUEMAS	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS (MAPAS)	ix
AGRADECIMIENTOS	xi
1. CAPÍTULO I	1
1.1. RESUMEN O ABSTRACT.....	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. Objetivo General	5
1.5.2. Objetivos Específicos	5
1.6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	5
1.6.1. Marco Referencial	5
1.6.2. Marco Teórico.....	6
1.6.3. Marco conceptual	7
1.7. PROCEDIMIENTO-MARCO METODOLÓGICO	9
1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.9. ESQUEMA METODOLÓGICO.....	20
2. CAPÍTULO II	21
DIAGNOSTICO TERRITORIAL DEL CANTÓN SAMBORONDÓN Y RECOPIACIÓN DE LA CRONOLOGÍA DE LAS AFECTACIONES POR INUNDACIONES MÁS IMPORTANTES A TRAVÉS DEL TIEMPO.	21
2.1. INUNDACIONES OCURRIDAS EN EL CANTÓN SAMBORONDÓN.....	21
2.2. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
2.2.1. Aspectos Biofísicos.....	23
• Geomorfología	23
• Pendientes	27
• Geología.....	28

•	Litología	29
•	Suelos	30
-	Textura de suelos	30
-	Taxonomía	31
•	Uso y Cobertura	32
•	Precipitación	33
•	Temperatura	34
•	Pisos Climáticos	35
•	Red de Drenaje	36
•	Microcuencas hidrográficas	37
•	Riesgos naturales	38
-	Amenaza por inundación	38
-	Vulnerabilidad por inundación	39
-	Riesgos por inundación	40
2.2.2.	Aspectos de infraestructura y demografía	41
2.2.3.	Aspectos Económicos	42
2.2.4.	Aspectos de Asentamientos Humanos	46
2.2.5.	Aspectos de Movilidad, energía y conectividad	47
3.	CAPITULO III	49
	TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES ÓPTICAS Y DE RADAR EN ÉPOCAS SECAS Y LLUVIOSAS	49
3.1.	SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES ÓPTICAS Y DE RADAR, DE ÉPOCAS, SECAS Y LLUVIOSAS PARA LA OBTENCIÓN DE ZONAS INUNDADAS.	49
	3.1.1. Evaluación y validación de la información	53
3.2.	AJUSTE RADIOMÉTRICO DE IMÁGENES	53
•	Ajuste Radiométrico a imágenes ópticas (LANDSAT)	53
•	Ajuste radiométrico a imágenes de RADAR (Sentinel)	66
3.3.	AJUSTE GEOMÉTRICO DE LAS IMÁGENES	66
•	Ajuste geométrico de las imágenes ópticas (LANDSAT 8)	66
•	Ajuste Geométrico de las imágenes de RADAR (Sentinel 1)	71
3.4.	INTERPRETACIÓN VISUAL DE LAS ZONAS INUNDADAS	71
•	Interpretación visual de las zonas inundadas en imágenes ópticas (LANDSAT 8)	71
•	Interpretación visual de las zonas inundadas en imágenes RADAR (Sentinel_1)	72

3.5. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS.....	74
3.5.1. Técnicas de detección de cambios con imágenes ópticas (LANDSAT 8)	74
• Composiciones de color multitemporal.....	74
• Diferencias entre Imágenes.....	75
• Cocientes multitemporales.....	79
• Componentes Principales.....	82
• Regresión.....	85
• Vectores multitemporales.....	90
• Análisis multitemporal de Imágenes Clasificadas.....	92
3.5.2. Técnicas de detección de cambios con imágenes RADAR (Sentinel 1)	95
• Composiciones de color multitemporal.....	95
• Diferencias entre imágenes.....	96
• Cocientes Multitemporales.....	97
3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
3.6.1. Análisis comparativo de cada una de las técnicas.....	99
• Corte y reclasificación de cada una de las técnicas en las imágenes ópticas (LANDSAT_8).....	99
• Corte y reclasificación de cada una de las técnicas en las imágenes RADAR (Sentinel 1).....	104
3.7. MATRIZ DE ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LAS TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS DE IMÁGENES ÓPTICAS.....	108
3.8. MATRIZ DE ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LAS TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS DE IMÁGENES RADAR.....	110
3.9. SELECCIÓN DE LA MEJOR TÉCNICA EMPLEADA.....	112
• Selección de la mejor técnica empleada a imágenes ópticas (LANDSAT-8)	112
• Selección de la mejor técnica empleada a imágenes RADAR (Sentinel 1)	112
4. CAPÍTULO IV.....	113
AFECTACIONES EN LOS SECTORES AGRÍCOLAS, POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA EN EL CANTÓN SAMBORONDÓN.....	113
4.1. AFECTACIÓN A LA AGRICULTURA, INFRAESTRUCTURA Y POBLACIÓN DENTRO DE LAS ZONAS INUNDADAS.....	113
• Estadísticas de las zonas agropecuarias afectadas (Ha por tipos de coberturas afectados).....	113
• Estadísticas de infraestructuras viales afectadas (km por tipos de vías afectadas).....	114

• Estadísticas de población y vivienda afectada (número de habitantes afectados y viviendas afectadas).....	115
4.2. RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES.....	117
5. CONCLUSIONES.....	118
6. BIBLIOGRAFÍA.....	122
7. ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Recopilación de insumos cartográficos	13
Tabla 2: Operacionalización de la Investigación	19
Tabla 3: Formas de Relieve del Cantón Samborondón.....	26
Tabla 4: Grupo de ocupación del cantón Samborondón por parroquia	44
Tabla 5: Rama de Actividad del cantón Samborondón por parroquia	46
Tabla 6: Matriz de eigenvalores imagen seca Tabla 7: Matriz de eigenvalores imagen lluviosa.....	84
Tabla 8: Matriz de cargas factoriales imagen seca.....	84
Tabla 9: Matriz de cargas factoriales imagen lluviosa	84
Tabla 10: Valores de Niveles Digitales de Imagen seca vs lluviosa	86
Tabla 11: Matriz de análisis comparativo de resultados de las técnicas de detección de cambios de imágenes ópticas.	110
Tabla 12: Matriz de análisis comparativo de resultados de las técnicas de detección de cambios de imágenes RADAR.....	111
Tabla 13: Reclasificación de zonas agropecuarias	113

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Geomorfología.....	23
Imagen 2: Pendientes	27
Imagen 3: Geología.....	28
Imagen 4: Litología	29
Imagen 5: Textura	30
Imagen 6: Taxonomía	31
Imagen 7: Uso y Cobertura	32

Imagen 8: Precipitación.....	33
Imagen 9: Temperatura	34
Imagen 10: Pisos Climáticos.....	35
Imagen 11: Red de Drenaje	36
Imagen 12: Microcuencas	37
Imagen 13: Amenaza por Inundación.....	38
Imagen 14: Vulnerabilidad por Inundación	39
Imagen 15: Riesgos por Inundación.....	40
Imagen 16: Aspectos Socioculturales.....	41
Imagen 17: Aspectos Económicos	43
Imagen 18: Asentamientos Humanos.....	47
Imagen 19: Movilidad, energía y conectividad.....	48
Imagen 20: Imagen LANDSAT 8 de época seca.....	49
Imagen 21: Imagen LANDSAT 8 de época lluviosa	50
Imagen 22: Imagen RADAR Sentinel 1 de época seca	51
Imagen 23: Imagen RADAR Sentinel 1 de época lluviosa.....	52
Imagen 24: Captura de pantalla del archivo metadato de la Imagen LANDSAT 8.....	54
Imagen 25: Modelo para conversión a reflectancia (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE).....	56
Imagen 26: Fórmula para conversión a reflectancia (Herramienta Model Marker, Función – ERDAS IMAGINE).....	56
Imagen 27: Resultado de conversión a reflectancia	57
Imagen 28: Valores mínimos y máximos de la imagen original vs imagen de reflectancia.....	57
Imagen 29: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 2.....	58
Imagen 30: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 3.....	59
Imagen 31: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 4.....	59
Imagen 32: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 5.....	60
Imagen 33: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 6.....	60
Imagen 34: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 7.....	61
Imagen 35: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 2	61
Imagen 36: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 3	62
Imagen 37: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 4	62
Imagen 38: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 5	63
Imagen 39: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 6	63
Imagen 40: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 7	64

Imagen 41: Composición a color (SWIR1, NIR, Rojo-RGB) de la imagen de reflectancia de época seca (27/Noviembre/2016)	64
Imagen 42: Composición a color (SWIR1, NIR, Rojo-RGB) de la imagen de reflectancia de época lluviosa (03/Mayo/2016)	65
Imagen 43: Corte rectangular de las imágenes ópticas en el área de estudio	66
Imagen 44: Composición a color RGB (SWIR1,NIR,R) y banda Pancromática.....	67
Imagen 45: Georreferenciación de las imágenes LANDSAT	68
Imagen 46: Métodos de Remuestreo	70
Imagen 47: Imagen con cartografía digital-IGM Imagen 48: Imagen con carta topográfica-IGM	71
Imagen 49: Interpretación Visual de zonas inundadas	72
Imagen 50: Interpretación Visual de zonas inundadas	73
Imagen 51: Composición a color (7 época seca, 7 y 2 época lluviosa – RGB).....	74
Imagen 52: Firmas espectrales de la composición a color de la imagen 55	75
Imagen 53: Ejemplo de diferencia entre imágenes.....	75
Imagen 54: Modelo para Diferencia de Imágenes (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE).....	76
Imagen 55: Fórmula para diferencia entre imágenes	76
Imagen 56: NIR (5) Imagen 57:SWIR1 (6) Imagen 58: SWIR 2 (7).	77
Imagen 59: Composición a color RGB - NIR (5) seca, NIR (5) lluviosa, Roja (4) lluviosa	77
Imagen 60: Diferencia de imágenes con un porcentaje de 10%.....	78
Imagen 61: Imagen diferencia.....	78
Imagen 62: Resultado de diferencia de imágenes con un porcentaje de 10%	79
Imagen 63: Modelo para cociente de imágenes	80
Imagen 64: Formula de cociente de imágenes	80
Imagen 65: Bandas resultado de cociente multitemporales 2, 3, 4, 5, 6,7	81
Imagen 66: Composición a color SWIR (6), NIR (5) y Roja (4) - RGB	81
Imagen 67: Ejemplo de Componentes Principales.....	82
Imagen 68: Función Componentes Principales ERDAS IMAGINE para imagen de época seca y lluviosa	83
Imagen 69:(Imagen de época seca – PC1, PC2, PC3) Imagen 70:(Imagen de época lluviosa – PC1, PC2, PC3)	83
Imagen 71: Composiciones a color con los componentes principales de ambas épocas	85

Imagen 72: Modelo de regresión lineal (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE).....	87
Imagen 73: Función ND ESTIMADA.....	87
Imagen 74: Función Cambios	88
Imagen 75: Resultado de Banda Estimada	88
Imagen 76: Imagen de Cambios.....	89
Imagen 77: Composición a color Regresión, Lluviosa (SWIR1), Lluviosa (NIR) – RGB	89
Imagen 78: Ejemplo de Vectores Multitemporales	90
Imagen 79: Modelo de Vectores Multitemporales y su función (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE)	91
Imagen 80: Resultado de Vectores Temporales	91
Imagen 81: Vectores Temporales, NIR, Roja – RGB.....	92
Imagen 82: Funciones de Clasificación No Supervisada para época seca y lluviosa –ERDAS IMAGINE	93
Imagen 83: Clasificación no supervisada época seca Imagen 84: Clasificación no supervisada época lluviosa	93
Imagen 85: Reclasificación Agua-No Agua SECA Imagen 86: Reclasificación Agua-No Agua LLUVIOSA	94
Imagen 87: Unión de las dos imágenes clasificadas	94
Imagen 88: Composición a color RGB (seca, lluviosa, lluviosa).....	95
Imagen 89: Modelo de diferencia de imágenes y su función (Herramienta Model Marker-ERDAS IMAGINE).....	96
Imagen 90: Diferencia de imágenes – RADAR.....	96
Imagen 91: Composición a color RGB (Diferencia, Lluviosa, Lluviosa)	97
Imagen 92: Modelo de cociente de imágenes y su función (Herramienta Model Marker-ERDAS IMAGINE).....	98
Imagen 93: Cociente de imágenes – RADAR.....	98
Imagen 94: Composición a color RGB (Cociente, Lluviosa, Lluviosa)	99
Imagen 95: Zonas inundadas con Composiciones de color Multitemporal.....	100
Imagen 96: Zonas inundadas con diferencia de imágenes.....	100
Imagen 97: Zonas inundadas con cocientes multitemporales	101
Imagen 98: Zonas inundadas con componentes principales	102
Imagen 99: Zonas inundadas con regresión.....	102
Imagen 100: Zonas inundadas con vectores multitemporales	103
Imagen 101: Zonas inundadas con vectores multitemporales	104

Imagen 102: Zonas inundadas con Composiciones de color multitemporal	105
Imagen 103: Zonas inundadas con Diferencia entre Imágenes.....	106
Imagen 104: (Composición a color RGB (Diferencia, Lluviosa, Lluviosa)	106
Imagen 105: Zonas inundadas con Diferencia entre Imágenes.....	107
Imagen 106: Composición a color RGB (Cociente, Lluviosa, Lluviosa)	107
Imagen 107: Afectación a Zonas Agropecuarias	114
Imagen 108: Afectación a la Red Vial	115
Imagen 109: Afectación a la Población	116
Imagen 110: Afectación a viviendas	117

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1: Metodología de la Disertación.....	20
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Regresión Lineal de la imagen seca vs inundada.....	87
--	----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Formula para ajustar radiométricamente las imágenes ópticas.....	53
Ecuación 2: Ecuación para cálculo de transformación	69
Ecuación 3: Ecuación para cálculo de transformación 2.....	69
Ecuación 4: Formulas para la realización de regresión lineal	86
Ecuación 5: Ecuación de longitud del vector	90

ÍNDICE DE ANEXOS (MAPAS)

Anexo 1: Mapa de ubicación.....	125
Anexo 2: Mapa de red de drenaje	126
Anexo 3: Mapa de población.....	127
Anexo 4: Mapa de uso del suelo.....	128
Anexo 5: Mapa Base	129
Anexo 6: Mapa geomorfológico.....	130
Anexo 7: Mapa de pendientes.....	131
Anexo 8: Mapa geológico.....	132

Anexo 9: Mapa litológico.....	133
Anexo 10: Mapa de textura de suelos	134
Anexo 11: Mapa Taxonómico.....	135
Anexo 12: Mapa de isoyetas	136
Anexo 13: Mapa de Isotermas.....	137
Anexo 14: Mapa de Pisos Climáticos	138
Anexo 15: Mapa de Microcuencas Hidrográficas	139
Anexo 16: Mapa de Amenaza de Inundación	140
Anexo 17: Mapa de Vulnerabilidad por Inundación.....	141
Anexo 18: Mapa de Riesgos por Inundación	142
Anexo 19: Mapa de aspectos de Infraestructura y Demografía.....	143
Anexo 20: Mapa de Aspectos Económicos.....	144
Anexo 21: Mapa de Asentamientos Humanos	145
Anexo 22: Mapa de Movilidad, Energía y Conectividad	146
Anexo 23: Mapa zonas inundadas por interpretación visual de la imagen de época lluviosa (LANDSAT).....	147
Anexo 24: Mapa de zonas inundadas por Interpretación visual de la imagen de época lluviosa (RADAR- Sentinel 1).....	148
Anexo 25: Mapa de Afectación a Zonas Agropecuarias 03/MAYO/2016	149
Anexo 26: Mapa de Afectación a la Red Vial 03/MAYO/2016	150
Anexo 27: Mapa de Afectación a la Población por sectores censales 03/MAYO/2016	151
Anexo 28: Mapa de Afectación a las viviendas por sectores censales 03/MAYO/2016	152

AGRADECIMIENTOS

A Lino Verduga, mi querido padre y el mejor geógrafo. Gracias por tus enseñanzas, tus consejos y por ser un modelo a seguir en mi vida y especialmente en mi carrera te amo mucho.

A Elizabeth López, mi mami la más linda antropóloga y mujer del mundo. Gracias por tu esfuerzo diario, levantarte temprano por mí, quedarte hasta tarde apoyándome cada día, amándome, enseñándome, corrigiéndome y aconsejándome para que sea una buena persona en la vida te amo mucho.

A mi director Mtr. Galo Manrique por orientarme, ayudarme y apoyarme en el proceso de esta disertación.

A mi lectora Mtr. Monserrat Mejía por su apoyo desde el principio de la presente disertación, por sus enseñanzas, su paciencia y sobre todo por su amistad y su cariño que me ha brindado a lo largo de toda la carrera.

A mi lectora Mtr. Olga Mayorga por su ayuda, sus instrucciones en esta disertación y en las materias brindadas por ella, le agradeceré siempre por su catedra excepcional.

A mis amigos Alejandra Narváez, y Bryan Córdova que fueron y son mi gran apoyo en mi vida, gracias mi chiqui por tantas risas y aventuras y gracias beffi por tu ayuda y apoyo, por ser como mi hermano, les quiero mucho.

A mi enamorado Andrew por ayudarme en este proceso haciéndome reír cada día con sus ocurrencias, apoyándome e insistiéndome para terminar rápido esta disertación, te amo mucho.

A mis primos Paul Verduga por su apoyo y refuerzo siempre a lo largo de la carrera, por convertirse en un amigo, en un compañero de aventuras en la universidad y a María José Alessi por siempre estar ahí para mí como una hermana y por ayudarme en trabajos y deberes desde que empecé la escuela te quiero cochi.

1. CAPÍTULO I

1.1. RESUMEN O ABSTRACT

El Cantón Samborondón está ubicado en la cuenca baja del río Guayas (Provincia del Guayas), es una zona propensa a inundaciones por su geomorfología, tipo de suelo y la recurrencia del fenómeno del niño que tiene gran influencia sobre el clima, cuando existen fuertes precipitaciones se producen desbordamientos en los ríos, causando daños sobre los sectores económicos, obras de infraestructura y asentamientos humanos lo que causa pérdidas para los habitantes es por eso que es necesario realizar el monitoreo de las inundaciones constantemente, para una mejor planificación del cantón. En la presente disertación se procedió a seleccionar imágenes satelitales, ópticas y de radar, de una época seca y una lluviosa, para observar los cambios de la cobertura, por lo que se efectuó un ajuste geométrico y una homogeneización radiométrica de cada una de las imágenes para proceder a aplicar las técnicas de detección de cambios que son: composiciones a color multitemporales, diferencias entre imágenes, cocientes multitemporales, componentes principales, regresión, vectores multitemporales y análisis multitemporal de imágenes clasificadas, donde cada una de ellas muestra una comparación multitemporal entre imágenes, comparando pixel a pixel los niveles digitales de las diferentes fechas y permitiendo la observación de los cambios que cada una de las técnicas ofrece de una fecha a otra, en donde se validó y realizo un análisis comparativo entre cada una de estas y se seleccionó la que mejor resultados ofreció por menor tiempo de ejecución y por calidad del producto porque facilito una óptima delimitación de zonas inundadas para obtener una cartografía de pronta respuesta que determino el espejo de agua, el cual permitió realizar un análisis espacial con las coberturas de uso, infraestructura y zonas urbanas y así se calculó datos estadísticos de hectáreas (ha) de cultivos, kilómetros (km) de tipo de vías y hectáreas (ha) de zonas urbanas afectadas, para apoyo a la prevención del riesgo en el cantón.

1.2. ANTECEDENTES

Uno de los aportes más destacados de la Teledetección espacial al estudio del ambiente, es su capacidad para monitorear procesos dinámicos, debido a que los satélites se encuentran en orbitas estables y repetitivas, las imágenes de los sensores remotos satelitales constituyen una información de datos valiosa, para estudiar los cambios que se producen en el hábitat terrestre debido a ciclos estacionales, alteraciones antropogénicas y catástrofes naturales como son las inundaciones por precipitación o desbordamiento de los ríos (Chuvienco, 2010).

A este respecto, las técnicas de detección de cambios, son cualquier técnica que permite señalar sobre dos o más imágenes multitemporales, las zonas que han experimentado transformaciones (Chuvienco, 2010).

De igual manera, éstas ayudan a obtener nuevos productos, con base en la comparación de dos imágenes satelitales de diferentes fechas, en el caso de las inundaciones se utiliza una imagen de época seca, en donde las respuestas espectrales de cada uno de sus pixeles van a tener valores altos y una imagen de época lluviosa, en donde las respuestas espectrales de cada uno de sus pixeles tendrán valores muy bajos, obteniéndose un producto que indica la evolución o cambio hídrico de la crecida, separando las zonas con cuerpos de agua permanentes de las zonas inundadas.

En esta perspectiva, las inundaciones en la cuenca baja del Guayas, se relacionan con las precipitaciones intensas de carácter excepcional y de larga duración, que aumentan considerablemente el caudal de los ríos, produciendo desbordamientos y generando inundaciones por anegamiento, especialmente en aquellas áreas de topografías planas con suelos de texturas arcillosas (CLIRSEN, 2008), características del área dentro de la cual se encuentra situado el cantón Samborondón.

El cantón Samborondón se encuentra ubicado en la provincia del Guayas, sus límites son: al norte con los cantones Salitre, Baba y Babahoyo, al este con los cantones Alfredo Baquerizo Moreno y San Jacinto de Yaguachi, al Sur con Durán, al Sur oeste con el cantón Guayaquil y al oeste con el cantón Daule. El cantón corresponde a una alta zona de riesgo por inundación (Mapa de ubicación-Anexo 1).

Partiendo de lo anterior, con respecto a la prevención ante la ocurrencia de desastres, se conoce que esto se ha convertido en un trabajo permanente para la sociedad en conjunto. Un desastre es un suceso que causa alteraciones en las personas, los bienes, la economía, los servicios y el medio ambiente, excediendo la capacidad de respuesta de

la comunidad afectada; es el producto de un fenómeno natural extremo y la inadecuada relación del ser humano con su entorno (Hernández Navarro, 2009).

Por lo tanto, es preciso conocer las características de los eventos que pueden tener consecuencias desastrosas y determinar la forma en que éstos inciden en el entorno, como un requisito esencial. Es fundamental el uso y aprovechamiento de los avances tecnológicos desarrollados para el conocimiento del territorio, con el fin de obtener datos más claros y fidedignos en el menor tiempo posible (Hernández Navarro, 2009)

Se hace necesario resaltar, que la generación de cartografía de pronta respuesta, es aquella que se obtiene de una manera rápida, especialmente cuando ocurren catástrofes naturales con ayuda de herramientas innovadoras, que nos permiten tener resultados claros y exactos. Por lo expuesto, este estudio apoyará la planificación de la ubicación de obras y asentamientos humanos en el cantón Samborondón.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el cantón Samborondón, anualmente existen zonas con alto riesgo de inundación. El principal suceso que puede causar este tipo de eventos, es el fenómeno de El Niño, que causa inundaciones y pérdidas de tipo material, económico, agrícola, pecuario, y hasta la pérdida de vidas humanas de los pobladores, originado por el aumento del caudal de los principales ríos (Mapa de red de drenaje – Anexo 2), lo que produce desbordamientos y anegamientos traducidos en severas inundaciones, como las ocurridas durante el desarrollo de “Los Niños 82-83 y 97-98” (Municipalidad de Samborondón, 2012).

Además, el cantón tiene una población de 67.590 habitantes (Mapa de población- Anexo_3) de los cuales 6.719 están dedicados a la Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, aunque su fortaleza principal se encuentra en el cultivo de arroz según datos del censo poblacional realizado en el año 2010 (INEC, 2010).

Por estas razones, es importante tomarlo como ejemplo para el presente caso de estudio en esta disertación, es esencial para el país contar con estadísticas y cartografía de pronta respuesta, como apoyo para la planificación de los asentamientos humanos y obras de infraestructura, en el caso de producirse esta amenaza, de acuerdo a los datos del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE, en el proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional a escala 1:25.000”, del mapa de cobertura y uso del suelo, se desprende que el 78,42 % del área del cantón Samborondón, corresponde a zona agropecuaria, de la cual el 70 % es cultivo de arroz, donde el 10% de

la población está dedicada a esta actividad (Mapa de uso del suelo – Anexo 4) (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).

Por otra parte las instituciones en el Ecuador como el Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE, Ministerio de Agricultura Ganadería, Acuacultura y Pesca - MAGAP, Secretaría de Gestión de Riesgo – SGR, entre otras, han utilizado las imágenes satelitales, especialmente las de radar, porque su longitud de onda permite atravesar las nubes, para delimitar las inundaciones con métodos visuales y procesamientos digitales de imágenes.

Es por ello, que en esta disertación se realizó una evaluación de técnicas de detección de cambio, buscando aportar al conocimiento con herramientas innovadoras, que sirvan para determinar transformaciones en la cobertura del suelo, entre dos épocas diferentes (seca y lluviosa), donde se obtuvo la cartografía de rápida respuesta de las áreas inundadas, partiendo de técnicas y herramientas que metodológicamente sirven para determinar cambios, mediante la utilización de imágenes satelitales ópticas y de radar. Con el apoyo de los sistemas de información geográfica - SIG y la teledetección (procesamiento digital de imágenes), se demostró que el empleo de las técnicas de detección de cambios, permitió la zonificación de las inundaciones, la que servirá de apoyo para la planificación del cantón Samborondón, frente a una amenaza por inundación que se repite periódicamente.

Por otra parte, la elaboración de esta investigación, fue factible gracias a la facilidad existente en la actualidad, para la obtención de datos satelitales en forma gratuita por medio de sitios web, la disponibilidad de herramientas como los sistemas de información geográfica - SIG y programas especializados en procesamiento digital de imágenes.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el cantón Samborondón, existe una correspondencia, entre las zonas ocupadas por las actividades humanas y aquellas donde ocurren situaciones de mayor peligro, desde el punto de vista de los fenómenos naturales, como son: los procesos de ocupación principalmente de los núcleos urbanos, zonas económicas y productivas como el cultivo de arroz (70% del área), actividad agrícola predominante en el área de estudio, paradójicamente dicha zona está amenazada por las inundaciones a causa del desbordamiento de los ríos y lluvias intensas (Mapa Base – Anexo 5). Con estos antecedentes surge la siguiente pregunta de investigación: ¿En qué medida los productos obtenidos de las técnicas de detección de cambios, son insumos técnicos útiles para

prevenir riesgos de inundaciones, en los procesos de planificación territorial con cartografía de pronta respuesta?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Evaluar las técnicas de detección de cambios para la delimitación de zonas susceptibles a inundación utilizando imágenes satelitales ópticas y de radar de época seca y lluviosa en el cantón Samborondón.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar el diagnóstico territorial del cantón Samborondón y recopilar la cronología de las afectaciones por inundaciones más importantes a través del tiempo.
- Aplicar técnicas de detección de cambios, utilizando imágenes satelitales ópticas y de radar en épocas secas y lluviosas, para la obtención de zonas inundadas y evaluar la calidad de los resultados obtenidos de cada técnica de detección de cambios.
- Obtener las afectaciones en los sectores agrícolas, población e infraestructura en el cantón Samborondón con el mejor resultado obtenido de la técnicas de detección de cambios y que los resultados conseguidos sirvan de insumos cartográficos al Cantón Samborondón para la prevención del riesgo de inundación.

1.6. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.6.1. Marco Referencial

Las técnicas de detección de cambios, han ganado popularidad debido a que sus procesos utilizan imágenes multiespectrales y multitemporales de diferentes satélites, obteniendo resultados óptimos, como se puede observar en los siguientes proyectos realizados en diferentes países:

“Detección automática de cambios urbanos a partir de imágenes de satélites, Málaga-España” donde su objetivo fue el desarrollo de una aplicación que automatice los procesos necesarios para el estudio multitemporal de imágenes con objeto de detectar cambios urbanos (Arévalo Espejo, 2011).

“Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa-Colombia” para observar y analizar cambios en el uso y cobertura de la tierra en el municipio de Paipa, mediante el uso de imágenes de dos fechas diferentes (Riaño M., 2002).

“Aplicación de la Teledetección para el Monitoreo de Eventos Hídricos Superficiales mediante Imágenes Cosmo SkyMed, Córdoba-Argentina.” El objetivo principal de esta investigación, fue identificar la propagación de la crecida del año 2010 en el Delta superior del Río Paraná, a partir de la generación de cartografía hídrica superficial mediante el uso de técnicas de percepción remota. Se utilizaron imágenes Cosmo SkyMed a las cuales se le aplicaron filtros adaptivos y de textura, para luego ser clasificadas mediante un algoritmo supervisado llamado Máxima Probabilidad. Se detectaron zonas inundadas y se corroboró en campo su exactitud. Luego se comparó los resultados con un clasificador no supervisado llamado ISODATA (Edrosa, 2011).

“Evaluación de técnicas de detección de cambios del uso de la tierra a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales en el cantón Daule-Ecuador.” donde el proyecto muestra la evaluación cualitativa y cuantitativa de las técnicas de detección de cambios a través del análisis multitemporal de imágenes satelitales LANDSAT Thematic Mapper (TM) y SPOT 5; Composición Multitemporal, Post-clasificación utilizando las bandas crudas, Diferencia de Imágenes al NDVI de cada período y un Enmascaramiento Binario aplicado a la Imagen de Diferencia. De este modo, la técnica cualitativa de cambios se determinó únicamente si cambio o no la cobertura del uso de la tierra, por el contrario en las técnicas cuantitativas se determinó la magnitud y dirección de los cambios de uso de suelo establecidos para el área del cantón Daule perteneciente a la provincia del Guayas (Bedón Pérez & Pinto Aldaz, 2012).

1.6.2. Marco Teórico

Los estudios de detección de cambios tienen como objetivo, determinar las modificaciones de algunas características de un determinado territorio, ocurridas entre dos o más fechas, con el fin de evaluar los impactos de un fenómeno, ya sea continuo o esporádico (Chuvienco, 2010).

Para el análisis de imágenes de satélite entre dos fechas planteadas en esta disertación, es necesario el apoyo de la herramienta SIG, que es una tecnología que permite capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos espacialmente georreferenciados, con características tales como una gran capacidad de almacenamiento de información georreferenciada y potencial análisis de la misma, lo que lo hace indicado para utilizarse en temas de planificación y gestión, en la toma de decisiones. Se utilizan exitosamente para visualizar mediante representaciones la vulnerabilidad de zonas geográficas donde existen asentamientos humanos expuestos a riesgos y desastres naturales (Moreno Jiménez, 2005).

1.6.3. Marco conceptual

Vulnerabilidad.- son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien, que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza. (CIIFEN, 2009)

Amenaza.- Es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa, que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento, de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza se determina en función de la intensidad y la frecuencia. (CIIFEN, 2009)

Riesgo.- Se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad. (CIIFEN, 2009)

Fenómeno Natural.- Una manifestación de procesos naturales, es decir el fenómeno constituye la causa. (Manrique Yacelga, 2007)

Amenaza Natural.- Se refiere a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que por su ubicación, severidad y frecuencia tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, sus estructuras y sus actividades. (Manrique Yacelga, 2007)

Impacto Ambiental.- Por impacto ambiental se entiende el efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural

catastrófico. Técnicamente, es la alteración de la línea de base (medio ambiente), debido a la acción antrópica o a eventos naturales. (Sanchez Angulo, 2009)

Inundaciones.- De acuerdo al glosario hidrológico internacional, inundación es un desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua, acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas o encharcamiento controlado para riego. (OMM/UNESCO, 2012)

Imágenes de satélite.- Cualquier forma de representación pictórica de los datos no obtenidas por medios fotográficos sino por satélites. (Chuvieco, 2010)

Landsat.- Serie de satélite, construida por la Nasa dedicados específicamente a la detección de recursos naturales. (Chuvieco, 2010)

Radar.- Sistema antiguo de microondas, que emite un haz energético sobre la superficie terrestre para luego recoger su reflexión sobre ella. (Chuvieco, 2010)

Sensores pasivos.- Un sistema de sensor que detecta la radiación emitida desde el objetivo o reflejada por él. (Chuvieco, 2010)

Sensores activos.- Cuando son capaces de emitir sus propias ondas electromagnéticas, y grabar posteriormente el haz reflejado por el objeto bajo estudio. (Chuvieco, 2010)

Composiciones a color.- Se aplica cada uno de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) a una banda distinta de la imagen, seleccionada con el criterio y en el orden que se estime más oportuno, lo que permite visualizar simultáneamente información de distintas regiones del espectro, facilitando la delimitación visual de algunas cubiertas. (Chuvieco, 2010)

Cocientes multitemporales.- Técnica de detección de cambios con diferencias de nivel digital entre dos fechas, no da una idea del cambio absoluto sino relativo. Por ejemplo si el pixel redujo su valor de nivel digital en número de 20 no será lo mismo si partió (nivel digital inicial) de un valor, por ejemplo, de 250 que de 40. Para estos casos el cambio absoluto será totalmente distinto (no perceptible en el primer caso y del orden del 50% en el segundo caso). Para resaltar los cambios producidos entre ambas fechas conviene realizar en cociente entre las mismas (Chuvieco, 2010).

Componentes principales.- Técnica de tratamiento estadístico que permite condensar una serie de variables en un menor número sobre la base de sus correlaciones mutuas. (Chuvieco, 2010)

Regresión.- El análisis de regresión es una técnica estadística para investigar la relación funcional entre dos o más variables, ajustando algún modelo matemático. (González Sánchez, 2008)

Clasificación de imágenes.- Proceso por el que se asigna un pixel de una imagen multispectral a una de las categorías de la leyenda, generalmente sobre la base de similitudes entre los valores numéricos que la definen. (Chuvienco, 2010)

Detección de cambios.- Cualquier técnica que permite señalar sobre dos o más imágenes multitemporales, las zonas que han experimentado transformaciones. (Chuvienco, 2010)

Cartografía de pronta respuesta.- Obtención de cartografía sin utilizar fotogrametría como aquella cartografía obtenida de imágenes de satélite, LIDAR, Radar entre otros y que no tiene una precisión totalmente exacta (Arce Neira & Ortega Candia, 2015).

Ajuste Radiométrico.- Término genérico, que designa aquellas técnicas que modifican los ND originales, con objeto de acercarlos a los que habría presentes en la imagen caso de una recepción ideal. Dentro de este concepto se incluye el tratamiento de los problemas radiométricos derivados del mal funcionamiento del sensor, junto a la obtención de magnitudes físicas y corrección atmosférica de los datos (Chuvienco, 2010).

Ajuste Geométrico.- Las correcciones geométricas de la imagen incluyen cualquier cambio en la posición que ocupan los píxeles que la forman. Gracias a tratarse de un formato digital, es una transformación que puede basarse en funciones numéricas, que permiten modificar muy flexiblemente la geometría de la imagen (Chuvienco, 2010).

1.7. PROCEDIMIENTO-MARCO METODOLÓGICO

1.7.1. Metodología y Técnicas

Una vez determinada el área de estudio, se procedió a seleccionar las imágenes satelitales ópticas y de radar, de una época seca y una lluviosa, la comparación multitemporal entre imágenes se realizó comparando pixel a pixel los niveles digitales de las diferentes fechas, se efectuó un ajuste geométrico y una homogeneización radiométrica de cada una de las imágenes, para proceder a aplicar las técnicas de detección de cambios que son: composiciones a color multitemporales, diferencias entre imágenes, cocientes multitemporales, componentes principales, regresión, vectores

multitemporales y análisis multitemporal de imágenes clasificadas, para posteriormente validar y realizar un análisis comparativo entre cada una de estas y seleccionar una para realizar la delimitación zonas inundadas, con el fin de determinar el espejo de agua, que permita realizar un análisis espacial con las coberturas de uso, infraestructura y zonas urbanas y calcular datos estadísticos de hectáreas (ha) de cultivos, kilómetros (km) de tipo de vías y hectáreas (ha) de zonas urbanas afectadas, para apoyar a la prevención del riesgo del cantón Samborondón.

1.7.2. Diagnóstico territorial del cantón Samborondón y recopilación de la cronología de las afectaciones por inundaciones más importantes a través del tiempo.

Para realizar el diagnóstico territorial y la recopilación cronológica es necesario obtener la siguiente información

- ✓ Inundaciones ocurridas en el Cantón Samborondón.

- ✓ Diagnóstico territorial del área de estudio:
 - Aspectos Biofísicos.
 - Aspectos Socioculturales.
 - Aspectos Económicos.
 - Aspectos de Asentamientos Humanos.
 - Aspectos de Movilidad, energía y conectividad.

1.7.3. Recopilación de insumos cartográficos

Los insumos cartográficos recopilados se muestran en la tabla 1:

Información Cartográfica	
Tipo de Información	Fuente
Cartografía básica (Red Vial, Red de Drenaje, Curvas, Cotas)	Cartografía básica del Instituto Geográfico Militar ESC: 1:50.000
Información Satelital	
Tipo de Información	Fuente
Imágenes	https://glovis.usgs.gov/ NASA Imágenes Ópticas: LANDSAT <u>Seca: 27/11/2016</u> <u>Lluviosa: 03/05/2016</u> https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home Imágenes RADAR: Sentinel <u>Seca: 29/09/2015</u> <u>Lluviosa: 20/03/2017</u>
Información temática	
Tipo de Información	Fuente
Precipitación (mm). Temperatura °C	Isoyetas e Isotermas MAGAP (2002) ESC: 1:250.000

Tipo de textura del suelo.	IEE Mapa de Uso y Cobertura del Suelo, Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” (2010) ESC: 1:25.000
Taxonomía del suelo	Taxonomía por orden MAGAP PRONAREG (2003) ESC: 1:250.000
Tipo de pendiente.	MDT Shuttle Radar Topography Mission-srtm 90m NASA
Unidad de Uso del suelo	IEE Mapa de Uso y Cobertura del Suelo, Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” (2010) ESC: 1:25.000
Tipo de formación geológica	INIGEMM (2001) ESC:1:250.000
Numero de desbordamientos anuales.	Municipalidad de Samborondón. (2012). Plan Cantonal de Desarrollo y Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2022. Samborondón: GAD Samborondón.
Número de Población Densidad Poblacional	Censo de Población y Vivienda INEC (2010)
Número de establecimientos educativos	MINEDUC (2014)

	ESC: 1.50.000
Número de Establecimientos de Salud	Ministerio de Salud Pública (2014) ESC: 1.50.000
Número de personas trabajando Rama de actividad	Censo de Población y Vivienda INEC (2010)

Tabla 1: Recopilación de insumos cartográficos

Realizado por Salomé Verduga

1.7.4. Evaluación y validación de la información.

- En esta etapa se evaluó, validó y seleccionó la información recopilada, para proceder al análisis espacial de los resultados.

1.7.5. Ajustes de las imágenes.

- **Ajustes radiométricos.-** Las condiciones de observación, situaciones atmosféricas o la calibración del sensor, son factores que modifican la signatura espectral de un pixel, aunque se mantenga constante la cubierta; por lo que debimos homogenizar los niveles digitales de las imágenes que intervienen en los análisis, en esta disertación se trabajó con valores de reflectividad para las imágenes ópticas. En las imágenes de radar fue necesario aplicar este procedimiento a causa de que atraviesan las nubes dado que su longitud de onda es mayor (Chuvieco, 2010).
- **Ajustes geométricos.-** Para la comparación multitemporal es preciso que las imágenes se ajusten con gran detalle, para sensores de baja resolución espacial se ha comprobado que hasta un 50% del cambio observado, puede deberse a errores de superposición, cuando el ajuste entre imágenes tiene un error superior a un pixel (Townshend, Justice, Gurney, & McManus, 1992)

1.7.6. Aplicación de las técnicas de detección de cambios a imágenes ópticas para la obtención de zonas inundadas.

Se partió de dos imágenes ópticas (landsat), canales RGB con asignación de bandas (SWIR1, NIR, Roja-RGB) correspondientes a una época seca y a una época lluviosa, se obtuvo una nueva imagen que indicó la evolución o dinámica hídrica de la crecida, en la que se mostró objetos que estaban presentes en la situación inicial y que en la situación final no aparecían, en la que también se analizó las firmas espectrales de un mismo pixel en dos épocas diferentes.

- **Composiciones de color Multitemporal.**- Aplicando esta técnica, se obtuvo un producto que muestra en un determinado color (asignando según el canal rojo, verde o azul) los objetos que estaban presentes en la situación inicial y que en la situación final no aparecían. En este caso se quiso visualizar en un color, contrastante con el resto de las coberturas, las áreas de terreno inundadas en ambas fechas (Chuvieco, 2010).
- **Diferencias entre Imágenes.**- Aplicando la técnica más sencilla de detección de cambios, se obtuvo un nuevo producto, que mostró la diferencia de respuesta espectral entre ambas fechas y por ende los cambios observados o destacados en la segunda fecha (Chuvieco, 2010).
- **Cocientes Multitemporales.**- El producto satelital resaltó las zonas con cambios, ya que al hacer el cociente, las zonas sin cambios dieron como resultado un valor cercano a la unidad, mientras que en las zonas con cambios estuvo aumentado su nivel digital, debido a lo cual el cociente fue más pequeño porque el nivel digital del agua es aproximadamente igual a cero (Chuvieco, 2010).
- **Componentes Principales.**- Se generó un producto satelital de cambio, a partir de la aplicación de la técnica de componentes principales. Como se ha visto en la teoría de teledetección, a partir de la rotación y traslación de los píxeles de todas las bandas entre sí, tomadas de dos a dos, hacia dos nuevos ejes ortogonales, se sintetiza la información y se reduce la dispersión de los datos, logrando así una independencia de los datos de una componente respecto de la otra. De esta

manera se pudo pasar de dos, tres o más bandas a tener una, dos, o más componentes principales, donde se sintetizó la información; la imagen final obtuvo la información común a las dos fechas analizadas, la segunda componente indicó los cambios principales, así como la tercera mostró otros cambios no contenidos en las componentes anteriores (Chuvieco, 2010).

- **Regresión.-** Se quiso generar un producto satelital de cambios, a partir de la correlación que existe entre una misma banda de dos fechas distintas. Además de la correlación lineal, obtuvimos una banda estimada para la fecha final. La diferencia entre los valores de la banda de la fecha final y la banda estimada nos mostró los cambios entre los valores reales y los estimados desde la correlación, obteniendo valores altos en aquellos pixeles que denotan cambios y bajos en el resto (Chuvieco, 2010).
- **Vectores temporales.-** Es una técnica, que intenta incorporar no solo la importancia sino también la dirección del cambio entre imágenes; si representamos en un eje bi-variado dos bandas originales, por ejemplo, la infrarroja media e infrarroja cercana, cada pixel viene definido por un punto. Si ese pixel cambia se altera su cobertura entre dos fechas, también se modificará su emplazamiento espectral. La magnitud del cambio vendrá dada por la longitud del vector que separa ambos puntos. Por su parte, el sentido del cambio se define por el ángulo de este vector respecto del eje de referencia (Chuvieco, 2010).
- **Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas.-** Clasificar conlleva consigo, la idea de discriminar la escala espectral continua de las imágenes originales, por lo tanto, comparaciones temporales se pueden realizar entre clasificaciones. La detección de cambios a partir de técnicas de clasificación, puede abordarse empleando dos grupos de técnicas: comparación de imágenes previamente clasificadas y clasificar conjuntamente las imágenes de las dos fechas (Chuvieco, 2010).

1.7.7. Aplicación de técnicas de detección de cambios a imágenes de radar para la obtención de zonas inundadas.

Se siguieron los mismos procedimientos descritos en el ítem anterior, solamente en las siguientes técnicas, debido a que solamente se dispone de una banda por época:

- Composiciones de color multitemporal
- Diferencias entre imágenes
- Cocientes multitemporales

1.7.8. Evaluación de la calidad de los productos obtenidos de cada técnica de detección de cambios.

Se realizó un análisis comparativo de las técnicas descritas.

1.7.9. Generación del espejo de agua.

Con la técnica seleccionada en el ítem anterior, se procedió a convertir de formato raster a formato vectorial el espejo de agua y calcular la superficie en hectáreas (ha).

1.7.10. Análisis comparativo del espejo de agua con zonas vulnerables.

Se realizó un análisis espacial entre el espejo de agua y la agricultura, la red vial, zonas urbanas y los aspectos socioeconómicos, calculando datos estadísticos de hectáreas de cultivos, kilómetros de tipo de vías y hectáreas de zonas urbanas afectadas.

1.7.11. Insumos cartográficos resultados del estudio para apoyo en la prevención del riesgo de inundaciones.

Cobertura del espejo de agua: Esta cobertura se convierte en una herramienta para la prevención del riesgo, zonificando áreas de alta, media y baja amenaza, con el fin de planificar de forma adecuada zonas agrícolas, asentamientos humanos y nuevas obras de infraestructura.

1.8. OPERACIONALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación en la tabla 2, se indican las variables, indicadores y fuentes de la información recopilada

Variables	Indicadores	Fuente
Imágenes	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de Imagen • Número de Pixeles que han sufrido un cambio mayor al 10% • Cambio en la respuesta espectral. • Resolución espectral en cada una de las imágenes (número de bandas) • Resolución temporal (fecha de visita del satélite en la zona de estudio) • Resolución espacial de imágenes ópticas y de radar. • Tamaño de la Imagen. 	<p>https://glovis.usgs.gov/ NASA</p> <p>Imágenes Ópticas: LANDSAT</p> <p><u>Seca: 27/11/2016</u></p> <p><u>Lluviosa: 03/05/2016</u></p> <p>https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home</p> <p>Imágenes RADAR: Sentinel</p> <p><u>Seca: 29/09/2015</u></p> <p><u>Lluviosa: 20/03/2017</u></p> <p>De acuerdo a la resolución espacial se determinara la escala</p> <p>Resolución Espacial:</p> <p>Ópticas:30m</p> <p>RADAR: 10m</p>
Clima	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación (mm). • Temperatura °C 	<p>Isoyetas e Isotermas MAGAP (2002) ESC: 1:250.000</p>
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de textura del suelo. • Taxonomía del suelo 	<p>IEE Mapa de Uso y Cobertura del Suelo, Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” (2010)</p> <p>ESC: 1:25.000</p> <p>Taxonomía por orden MAGAP</p>

		PRONAREG (2003) ESC: 1:250.000
Geomorfología	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de pendiente. 	MDT Shuttle Radar Topography Mission-srtm 90m NASA
Uso y Cobertura	<ul style="list-style-type: none"> Unidad de Uso Número de hectáreas 	IEE Mapa de Uso y Cobertura del Suelo, Proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional” (2010) ESC: 1:25.000
Geología	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de formación 	INIGEMM (2001) ESC:1:250.000
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> Número de ha inundadas. 	Resultado de los procesos de las técnicas de detección de cambios y el análisis espacial.
Crecidas	<ul style="list-style-type: none"> Número de desbordamientos anuales. 	Municipalidad de Samborondón. (2012). Plan Cantonal de Desarrollo y Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2022. Samborondón: GAD Samborondón.
Población	<ul style="list-style-type: none"> Número de Habitantes Densidad Poblacional 	Censo de Población y Vivienda INEC (2010)
Educación	<ul style="list-style-type: none"> Número de establecimientos educativos 	MINEDUC (2014) ESC: 1.50.000
Salud	<ul style="list-style-type: none"> Número de Establecimientos de Salud 	Ministerio de Salud Pública (2014) ESC: 1.50.000

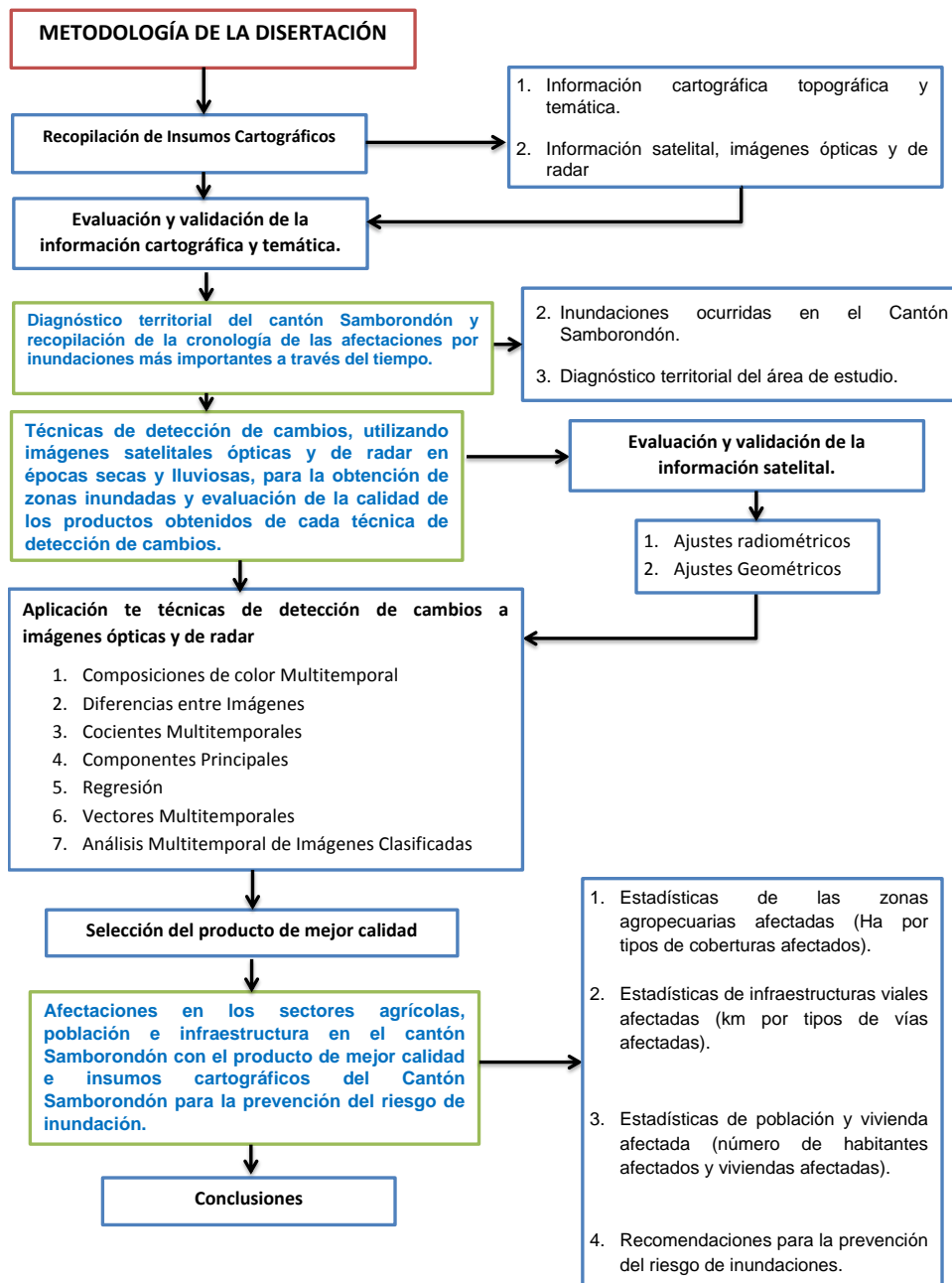
Trabajo y Empleo	<ul style="list-style-type: none"> • Número de personas trabajando • Rama de actividad 	Censo de Población y Vivienda INEC (2010)
Uso y Cobertura afectado	<ul style="list-style-type: none"> • Numero de ha que han sufrido cambios por inundación identificado por las diferentes técnicas 	Resultado de los procesos de las técnicas de detección de cambios y el análisis espacial.
Infraestructura afectada	<ul style="list-style-type: none"> • Kilómetros de red vial afectada por tipo y ha de zonas urbanas afectadas. 	Resultado de los procesos de las técnicas de detección de cambios y el análisis espacial.
Población afectada.	<ul style="list-style-type: none"> • Número de personas afectadas. 	Resultado de los procesos de las técnicas de detección de cambios y el análisis espacial.

Tabla 2: Operacionalización de la Investigación

Realizado por Salomé Verduga

1.9. ESQUEMA METODOLÓGICO.

A continuación, en el esquema 1 se muestra la metodología que se siguió en la elaboración de esta disertación:



Esquema 1: Metodología de la Disertación

Realizado por Salomé Verduga

2. CAPÍTULO II

DIAGNOSTICO TERRITORIAL DEL CANTÓN SAMBORONDÓN Y RECOPIACIÓN DE LA CRONOLOGÍA DE LAS AFECTACIONES POR INUNDACIONES MÁS IMPORTANTES A TRAVÉS DEL TIEMPO.

2.1. INUNDACIONES OCURRIDAS EN EL CANTÓN SAMBORONDÓN.

Por su posición geográfica, el cantón Samborondón es una llanura aluvial influenciada por las corrientes cálidas marinas del niño, que en los meses de diciembre a abril acrecientan la temperatura superficial del mar interactuando con el clima en época lluviosa. El deficiente sistema de drenaje del suelo aunado a las fuertes precipitaciones en épocas de alta pluviosidad y principalmente con la presencia del fenómeno del niño, provocan el aumento del caudal de los ríos y desbordamiento de los mismos, causando efectos dañinos para sus habitantes de tipo material y económico, por la afectación de las actividades agropecuarias, comerciales, de transporte, además de colocar en riesgo la vida humana, por accidentes, ahogamiento, epidemias entre otros (Municipalidad de Samborondon, 2012).

De igual manera, otro factor importante, es la modificación del ecosistema realizada a lo largo del tiempo por actividades antrópicas como las agropecuarias, proceso de urbanización, impactos por infraestructura de servicios, industrial entre otras, las que han ocasionado la desaparición de extensas áreas de vegetación, fauna y degradación de los suelos (Ludeña Rodríguez, 2000) .

Las inundaciones más representativas del cantón se presentan a continuación:

En los años, 1957-58, 1982-83 y 1997-98, eventos como el desbordamiento de los ríos Babahoyo, Vinces y Los Tintos, causados por las intensas lluvias del fenómeno del niño, causaron grandes problemas económicos y sociales que superaron la capacidad de respuesta de gobiernos locales peor aún de la comunidad (García, 1998).

En la costa durante el periodo de 1982-83, la precipitación acumulada sobrepasó los 4.000 milímetros por año, según informe del INAMHI, se perdieron cosechas, plantaciones, la destrucción de las vías de acceso no permitieron la comercialización y transporte de productos e insumos agropecuarios, el anegamiento y los corrimientos de agua afectaron la infraestructura habitacional, carreteras, puentes, tuberías y líneas de conducción dando como resultado la interrupción de la prestación de servicios como la

electricidad, por largos periodos de tiempo. El calentamiento y disminución de la salinidad de las aguas marinas, favoreció la emigración de fauna propia de la zona, afectando la pesca para consumo humano y para la industria (Ministerio de Salud Pública & Organización Panamericana de la Salud, 1998).

En los años 1997-1998, el fenómeno del niño, afectó con fuerza nuevamente al país principalmente a la franja costera, causando daños económicos a los habitantes de las zonas bajas rurales y de escasos recursos económicos, como jornaleros y pequeños propietarios que perdieron sus haberes, viéndose obligados a migrar principalmente los hombres, a las ciudades en busca de trabajo y ayuda (Ministerio de Salud Pública & Organización Panamericana de la Salud, 1998).

El anegamiento de la provincia del Guayas en época de fuertes precipitaciones, es un fenómeno frecuente, siendo el cantón Samborondón uno de los más afectados. A continuación se presenta una breve y resumida recopilación de las noticias sobre el tema, que algunos de los principales periódicos informan:

El desbordamiento de los ríos Babahoyo y los Tintos, anego los cultivos de arroz, principalmente en el recinto Zapán, interrumpiendo las labores agrícolas y la pérdida de los cultivos, en detrimento de los trabajadores y sus familias (EL UNIVERSO, 2005).

El Universo 5 de marzo del 2006, la directora del Instituto Nacional del Niño y la Familia (Innfa), entregó alrededor de 200 raciones de comida a las familias damnificadas por las inundaciones en el cantón Samborondón (EL UNIVERSO, 2006).

El Universo 17 de febrero del 2011, informa de fuertes precipitaciones (81,7 mm) con tormentas eléctricas en el cantón Samborondón, causando anegamientos, congestión vehicular (EL UNIVERSO, 2011).

El Telégrafo en su edición del 12 de febrero del 2015, comunica que la Prefectura del Guayas, interviene el cantón Samborondón entre otros, para retirar 145.916 m³ de sedimentos, a lo largo de 14,47 km pertenecientes a esteros, canales y ríos (El Telégrafo, 2015).

El 21 de marzo del 2015, La República notifica lo que se denominó “la marea del siglo”, fenómeno provocado por la alineación del sol y la luna, suceso que ocurre más o menos cada dieciocho años, acompañado en este año con fuertes aguaceros, provocó inundaciones en Guayaquil incluido el cantón Samborondón entre otros (La República, 2015).

El 25 de marzo del 2017, El Telégrafo reporta que las altas precipitaciones provocaron inundaciones y deslaves en algunos sectores del país, incluido el cantón Samborondón donde se reportaron congestionamientos (El Telégrafo, 2017) .

2.2. DIAGNÓSTICO TERRITORIAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.

2.2.1. Aspectos Biofísicos.

A continuación se presenta los insumos cartográficos biofísicos recopilados del cantón Samborondón:

- **Geomorfología**

En la imagen 1, se muestra la geomorfología a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano – IEE, en donde se observa que la mayor parte del área corresponde a una geomorfología con niveles planos y niveles ondulados con presencia de agua.

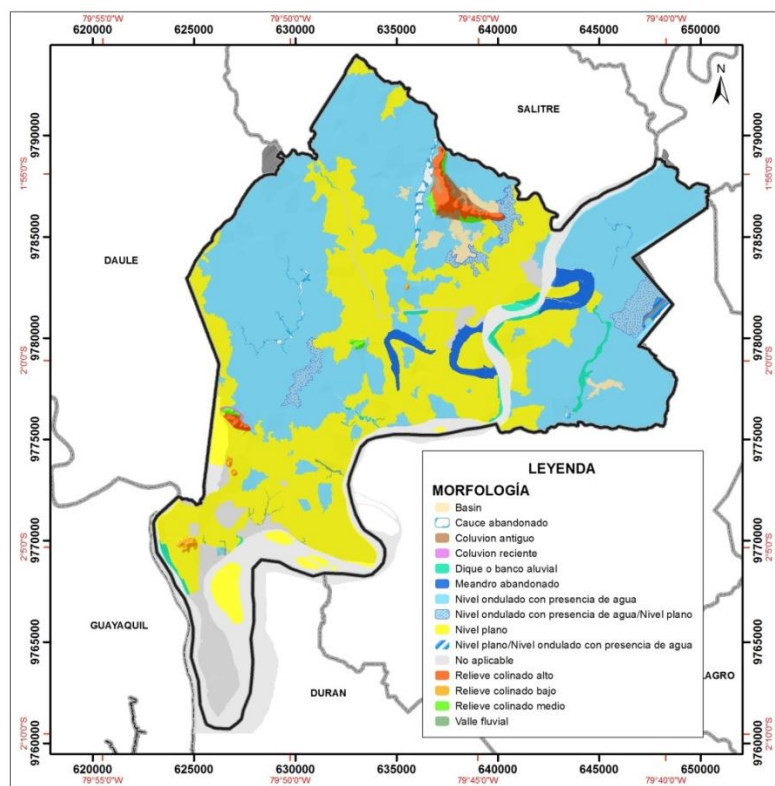


Imagen 1: Geomorfología
Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)
Realizado por Salomé Verduga

En la imagen 1 se muestra que existen 14 tipos de geoformas, (Mapa geomorfológico – Anexo 6) las cuales se explican en la tabla 3, que se muestra a continuación:

Forma del relieve	Descripción
Basín	Depresión que favorece el estancamiento tanto de las aguas de desborde, como de las aportadas por pequeños tributarios y de las mismas lluvias, lo cual facilita a su vez la decantación de las partículas más finas (Villota, 2005).
Cauce abandonado	Tramos abandonados del lecho de un río, pueden aparecer cubiertos con agua, con aspecto de pantanos o secos, inicialmente son cóncavos y cubiertos con sedimentos de lecho, como arenas y a veces gravas, cuando llegan a colmatarse los sedimentos de la superficie son más finos, poco permeables y a menudo cubiertos con vegetación herbácea adaptada a condiciones de drenaje restringido (Villota, 2005).
Coluvión reciente y antiguo	Forma de relieve de carácter denudativo, compuesto por materiales detríticos, transportados desde las partes altas de las laderas por acción de la gravedad y depositados en las partes intermedias o al pie de las laderas. Los materiales depositados son de carácter angular poco clasificados y sin estratificación, con pequeñas cantidades de material de grano

	<p>fino. El coluvión puede mostrar cierto grado de disección cubierto con vegetación pionera muy desarrollada, que indica cierto grado de madurez o antigüedad (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).</p>
<p>Dique o banco aluvial</p>	<p>Son bandas de sedimentos en forma de cuña que bordean los canales fluviales, los diques buzanan suavemente del borde del canal hacia el borde externo de la llanura de inundación, estos alcanzan un mayor desarrollo sobre los lados cóncavos del canal (Gutierrez , 2008).</p>
<p>Meandro abandonado</p>	<p>Tramos del lecho de un río correspondientes a una curva de meandro abierta o cerrada, cuyo corte o aislamiento ocurre cuando la corriente puede acortar su curso, incrementando localmente su pendiente. El taponamiento de sus extremos es rápido y tiene lugar por la acumulación de sedimentos del propio lecho (Villota, 2005).</p>
<p>Nivel ondulado con presencia de agua</p>	<p>Está compuesto por una asociación de muy suaves ondulaciones de amplitud métrica (3 a 5 m como máximo) y depresiones permanentemente inundadas. Es el aspecto típico de un modelado ondulado del cual solo las cimas emergen de las aguas (Winckell, 1997).</p>
<p>Nivel plano</p>	<p>Considerado como el nivel base de la llanura. Presenta una topografía</p>

	rigurosamente plana y pendientes siempre inferiores al 2%, nunca sobrepasa los 5 m de altitud absoluta (Winckell, 1997).
Nivel plano nivel ondulado con presencia de agua	Se refiere al nivel plano y ondulado con presencia de agua antes ya descrito.
Nivel ondulado con presencia de agua nivel plano	Se refiere al nivel plano y ondulado con presencia de agua antes ya descrito.
Relieve colinado alto	Constituyen elevaciones naturales del terreno de cimas redondeadas y/o agudas con vertientes cóncavas, convexas o rectilíneas. Sus pendientes alcanzan el 100 %, mientras que sus desniveles relativos llegan a los 200 m (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).
Relieve colinado bajo	Constituyen elevaciones naturales del terreno de cimas redondeadas, con vertientes convexas. Sus pendientes alcanzan el 40 %, mientras que sus desniveles relativos llegan a los 50 m (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).
Relieve colinado medio	Constituyen elevaciones naturales del terreno de cimas redondeadas, con vertientes convexas. Sus pendientes alcanzan el 70 %, mientras que sus desniveles relativos llegan a los 100 m (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).
Valle fluvial	Forma de relieve alargada, con pendiente relativamente plana del 2 al 5% y de sección transversal estrecha, en algunos casos intercalada entre áreas de relieve más alto y que tiene como eje a un río que fluyen generalmente en forma sinuosa y son inundables en épocas de invierno (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).

Tabla 3: Formas de Relieve del Cantón Samborondón
Realizado por Salomé Verduga

- **Pendientes**

En seguida se muestra en la imagen 2, las pendientes a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de pendientes – Anexo 7) en donde se observa, que el cantón presenta en su mayoría pendientes planas muy suaves, que cubren el 81% del cantón, no existe un porcentaje representativo de pendientes medias, las pendientes de medias a fuertes, fuertes y muy fuertes están concentradas en la parte norte del cantón en los relieves colinados altos, medios y en los coluviones antiguos, ocupando el 2% de todo el cantón, el 17% restante lo ocupa las ciudades que han sido modificadas por el ser humano y los cuerpos de agua.

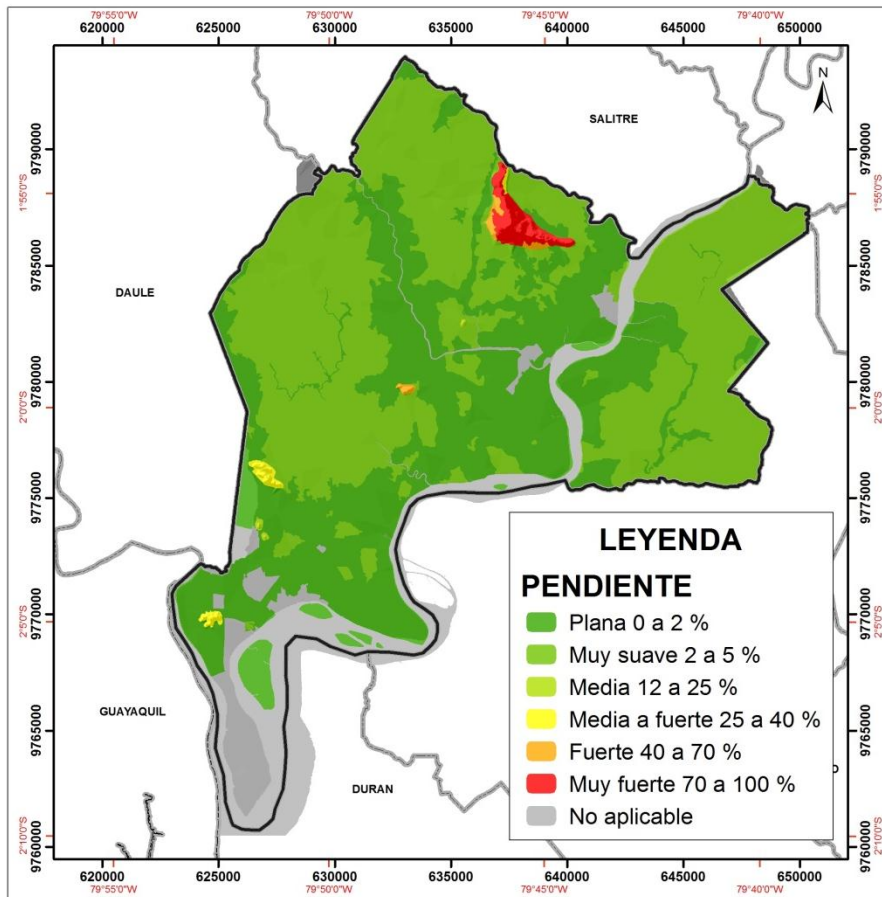


Imagen 2: Pendientes

Fuente: **(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)**

Realizado por Salomé Verduga

- **Geología**

En la imagen 3 se muestra la geología del cantón Samborondón del Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico – INIGEMM a escala 1:250.000 (Mapa geológico – Anexo 8) en donde se observan dos períodos geológicos en el cantón, correspondientes al cretáceo, período en el cual las capas de tiza y esquisto se amontonaron sobre el lecho de los mares, se dividió en dos partes, inferior y superior. El período cuaternario es el que más abarca al cantón, este período comenzó hace 2 millones de años, se divide en dos períodos Pleistoceno y Holoceno (Universidad Nacional Autónoma de México, 2013).

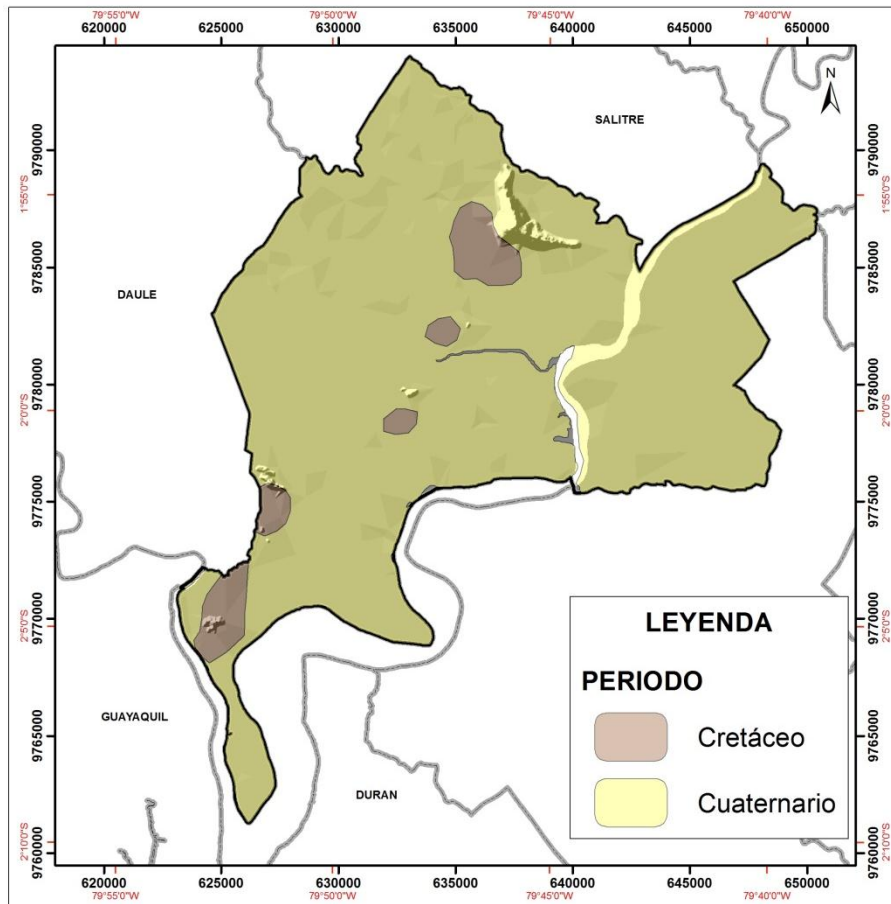


Imagen 3: Geología

Fuente: INIGEMM, 2001

Realizado por Salomé Verduga

- **Litología**

En la imagen 4, se muestra la litología del cantón Samborondón del Instituto nacional de investigación Geológico Minero Metalúrgico – INIGEMM a escala 1:250.000 (Mapa litológico – Anexo 9) en donde se observa que el 95% pertenece a arcillas marinas de estuario, 3% de lavas basálticas, tobas y brechas, 2% de grauwacas, lutitas y 0.01% de rocas ultrabásicas.

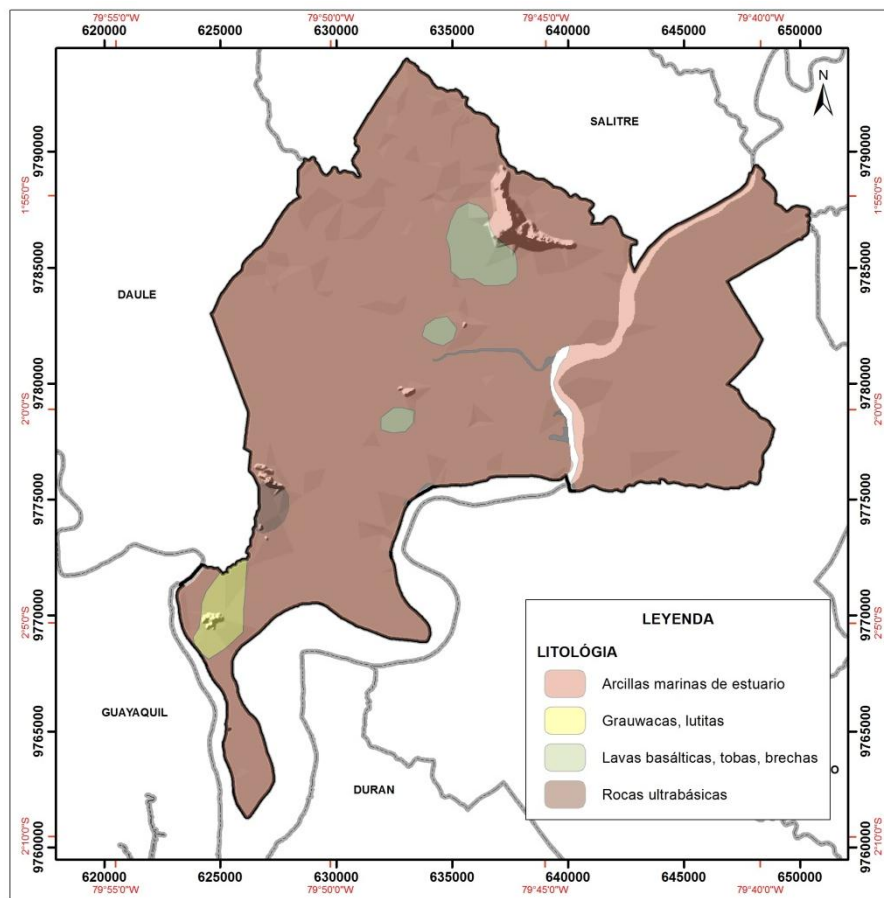


Imagen 4: Litología

Fuente: INIGEMM, 2001

Realizado por Salomé Verduga

- **Suelos**

- **Textura de suelos**

A continuación se muestra en la imagen 5 la textura de suelo a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de textura de suelos – Anexo 10) en donde se puede observar que la textura de suelo más representativa del cantón es arcillosa con el 46% del territorio, las cuales tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad y se cultivan con dificultad, pero a su vez, presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes. Le sigue el franco y franco arcilloso con el 37% es importante recalcar que los suelos francos muestran mayor aptitud agrícola, es por eso que el cantón cuenta con una alta rama de actividad agrícola. Por último con el 17% se encuentran las ciudades modificadas por el ser humano, cuerpos de agua y superficies rocosas (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).

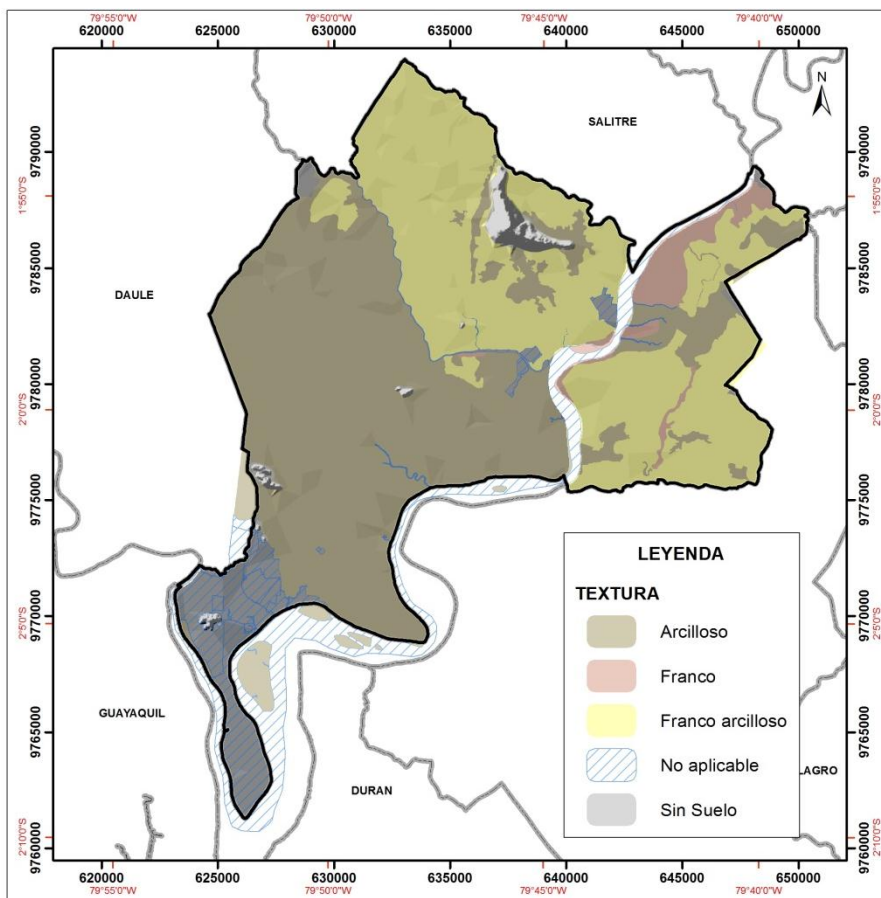


Imagen 5: Textura

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

- Taxonomía

En seguida se muestra en la imagen 6 la taxonomía a escala 1:250.000 del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca – MAGAP (Mapa Taxonómico – Anexo 11) en la cual se evidencia que en la zona de estudio, un porcentaje de 91% de taxonomía de suelos vertisoles, los cuales generalmente son negros, tienen un alto contenido de arcilla expansiva conocida como montmorillonita, la que forma profundas grietas en las estaciones secas, existe también la presencia de inceptisoles, que son suelos con débil desarrollo de horizontes, suelos de tundra, suelos volcánicos recientes, zonas recientemente deglaciadas. El 4% del cantón cuenta con suelos entisoles, caracterizados por la baja diferenciación de horizontes, estos pueden ser aluviones, suelos helados, desierto de arena y suelos molisoles los cuales se encuentran en zonas de pradera en climas templados, su horizonte es superficial blando, rico en materia orgánica, es espeso y oscuro con respecto a otros (USDA; NRCS, 2006).

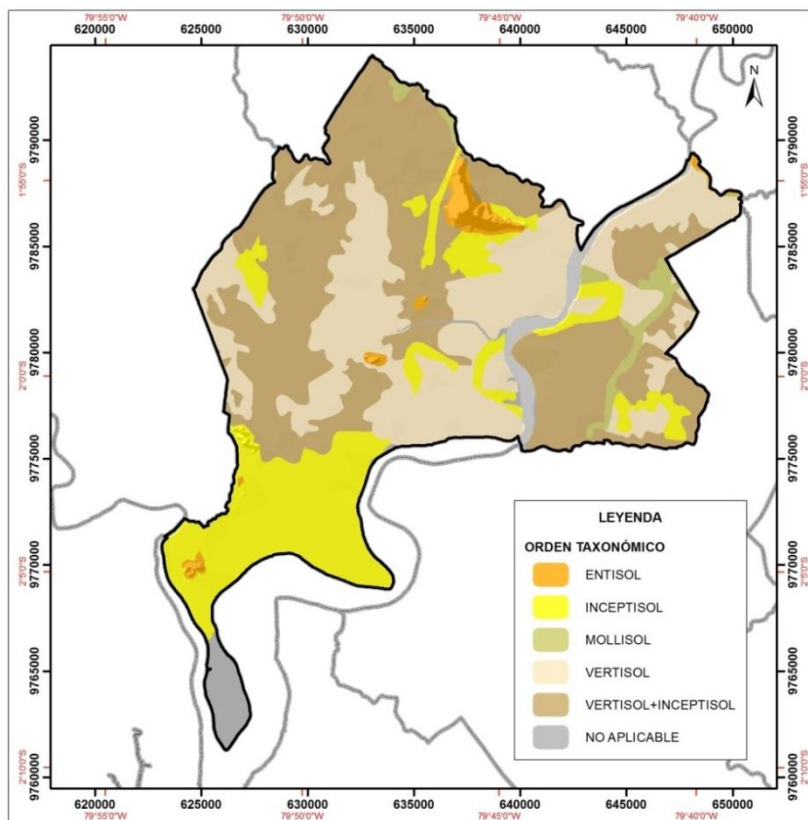


Imagen 6: Taxonomía

Fuente: MAGAP, 2003

Realizado por Salomé Verduga

- **Uso y Cobertura**

En la imagen 7 se presenta el uso y cobertura del suelo a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de uso de suelo – anexo 4) donde se reconocen diecisiete unidades de uso del suelo en el cantón Samborondón, donde se aprecia que el cultivo de arroz es el predominante con el 70% de superficie. El 29% está distribuido en: pasto cultivado, ríos, pasto natural, ciudades, vegetación arbórea seca y matorral seco. Por último el 1% se encuentra repartido en centros poblados, minas, humedales, basureros, pasto cultivado con presencia de árboles, misceláneo indiferenciado, poza de agua, árboles samanes, pasto cultivado con presencia de samanes y piladoras.

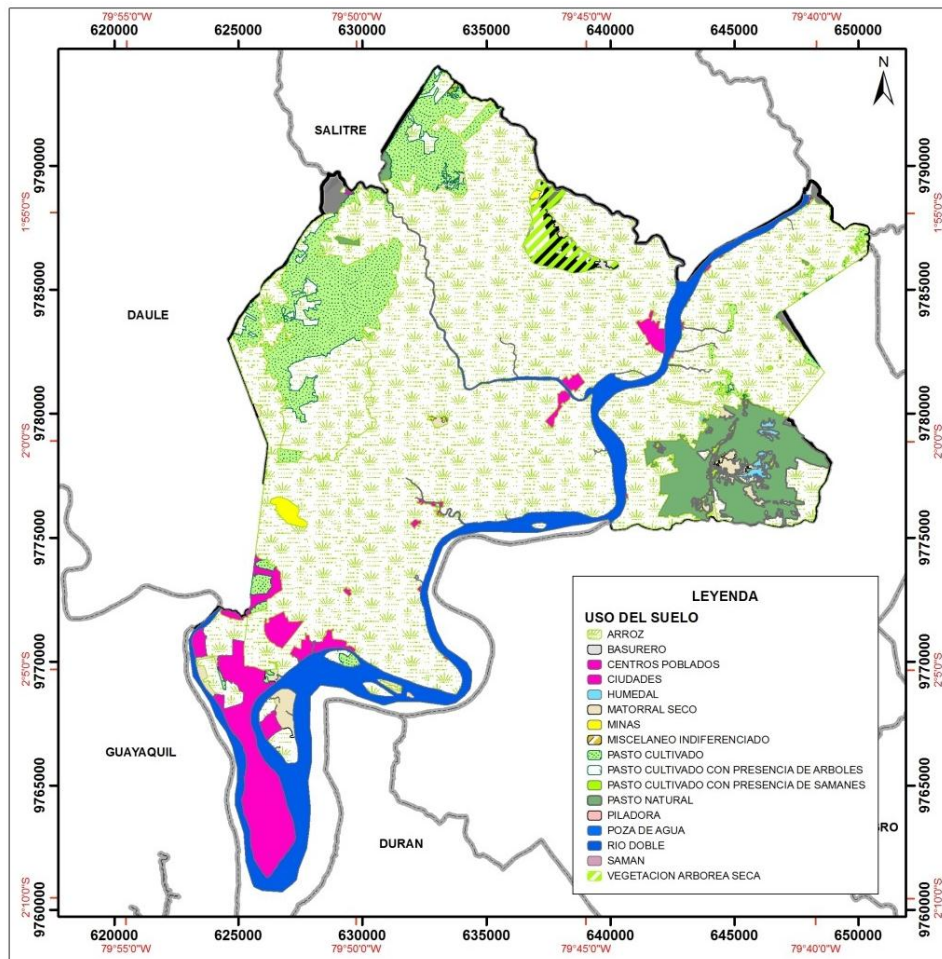


Imagen 7: Uso y Cobertura

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

- **Precipitación**

A continuación se presenta en la imagen 8 las isoyetas a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de isoyetas – Anexo 12), la cual presenta las zonas de precipitación del cantón Samborondón, las que van desde 800mm hasta 1400mm, se puede apreciar que en la parte sur del cantón es donde se producen menos precipitaciones de 800mm a 1000mm y en la parte centro norte están las precipitaciones más altas e intensas desde 1000mm hasta 1400mm.

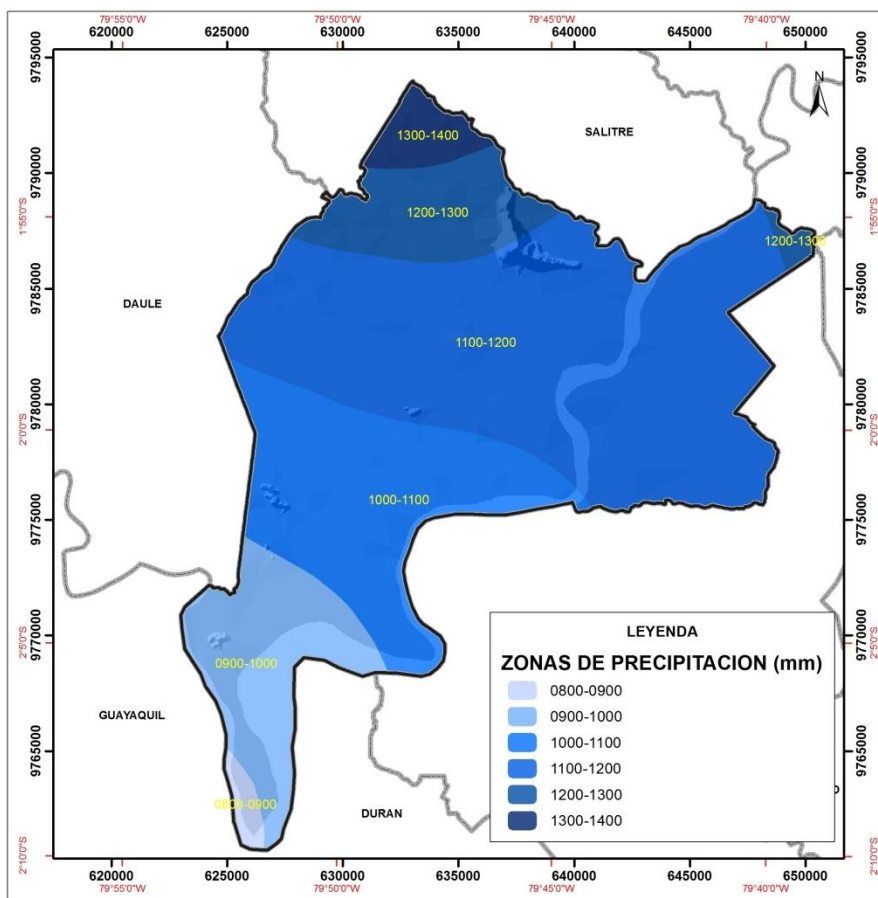


Imagen 8: Precipitación

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

- **Temperatura**

En seguida se muestra en la imagen 9, las isotermas a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de Isotermas – Anexo 13) en donde el rango de temperatura es constante a lo largo del cantón entre 26°C. a 27 °C. Esta zona se encuentra en clima Tropical Megatérmico Húmedo (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009).

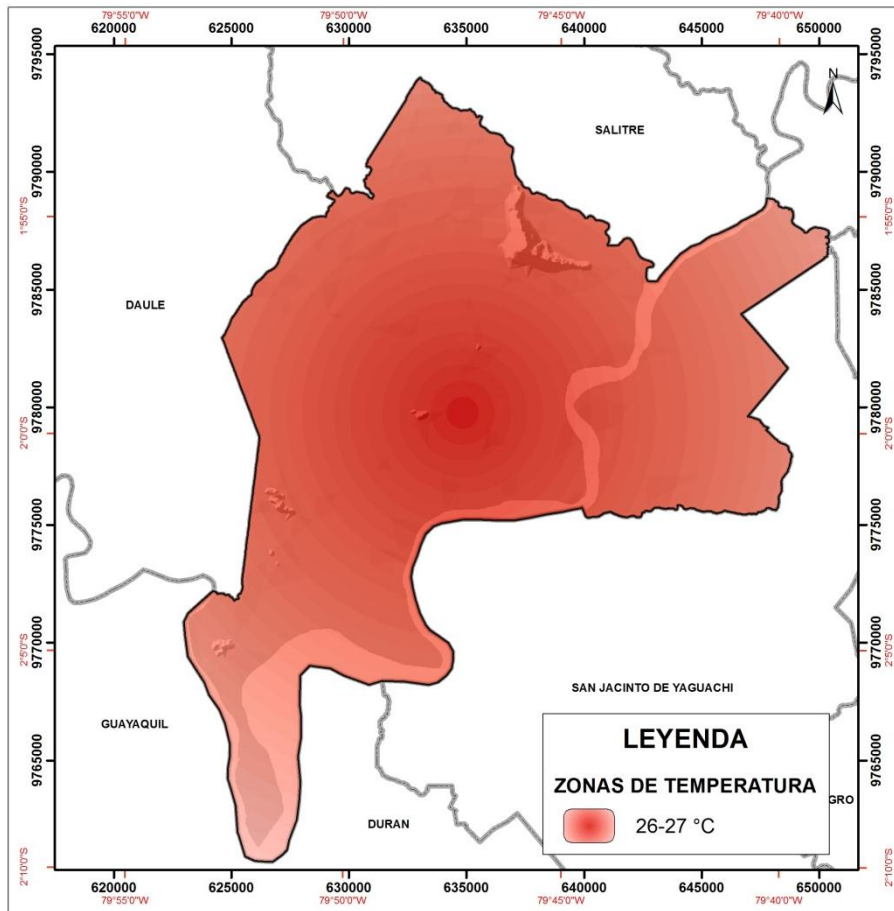


Imagen 9: Temperatura

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

- **Pisos Climáticos**

En la imagen 10 se presentan los diferentes pisos climáticos a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de pisos climáticos – Anexo 14) donde existe dos pisos climáticos; se observa el piso tropical megatérmico húmedo, el cual corresponde a la vertiente oeste de la cordillera occidental, con precipitaciones superiores a los 2000mm, fluctuantes hasta los 5000mm, es el más representativo del cantón ocupando casi todo el territorio de estudio; el piso tropical megatérmico semi-húmedo ocupa una pequeña parte del sur del cantón, presentando generalmente precipitaciones de 1000 a 2000 mm, el verano es seco y afecta una faja de 80km de ancho, se encuentra desde la costa norte hasta el golfo de Guayaquil (Porrout & Gómez, 1998).

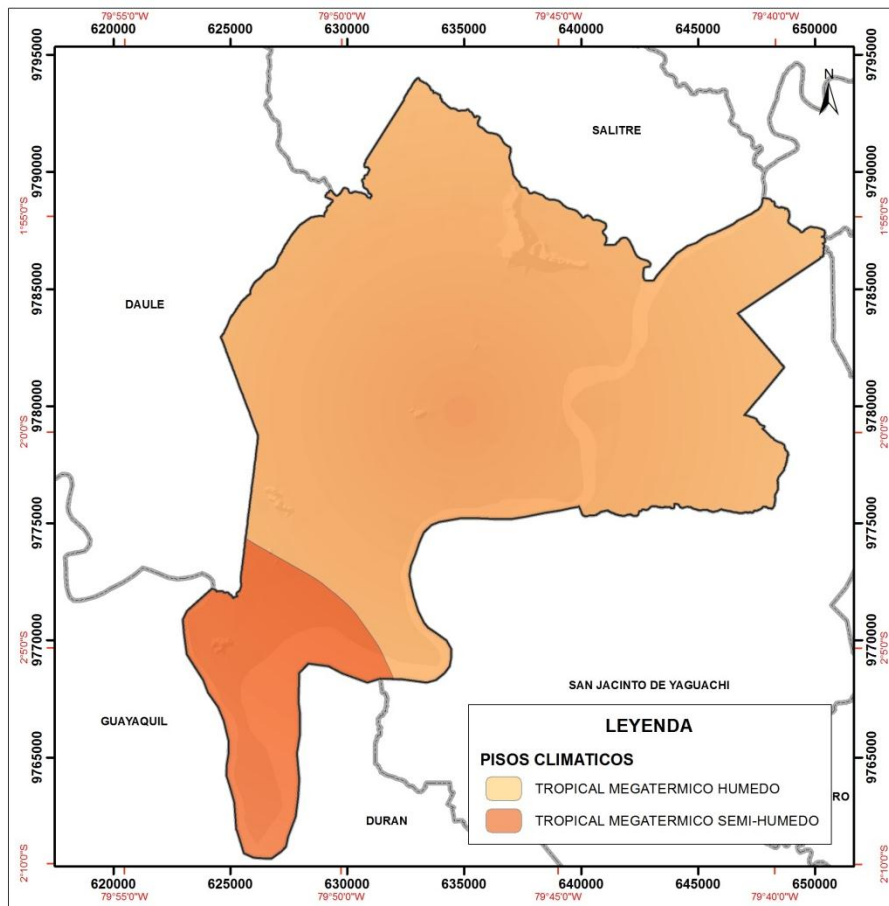


Imagen 10: Pisos Climáticos

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

- **Microcuencas hidrográficas**

En seguida en la imagen 12 se presentan las microcuencas hidrográficas a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de microcuencas hidrográficas – Anexo 15); se puede conocer que el cantón cuenta con el 94% de microcuencas de drenajes menores, 3% de la microcuencia del estero Capachos, 2% del territorio está conformado por la microcuencia del estero Chico y el 1% restante de microcuencas de esteros no nombrados.

El sistema de micro-cuencas que ingresan al cantón, concentran una gran cantidad de riachuelos y esteros, como el estero El Rosario, Buijo, Batan, Paula León, Capacho entre otros, estos influyen en el desarrollo económico de las poblaciones rurales y en el potencial turístico debido al antes mencionado corredor fluvial del río Los Tintos (Municipalidad de Samborondon, 2012).

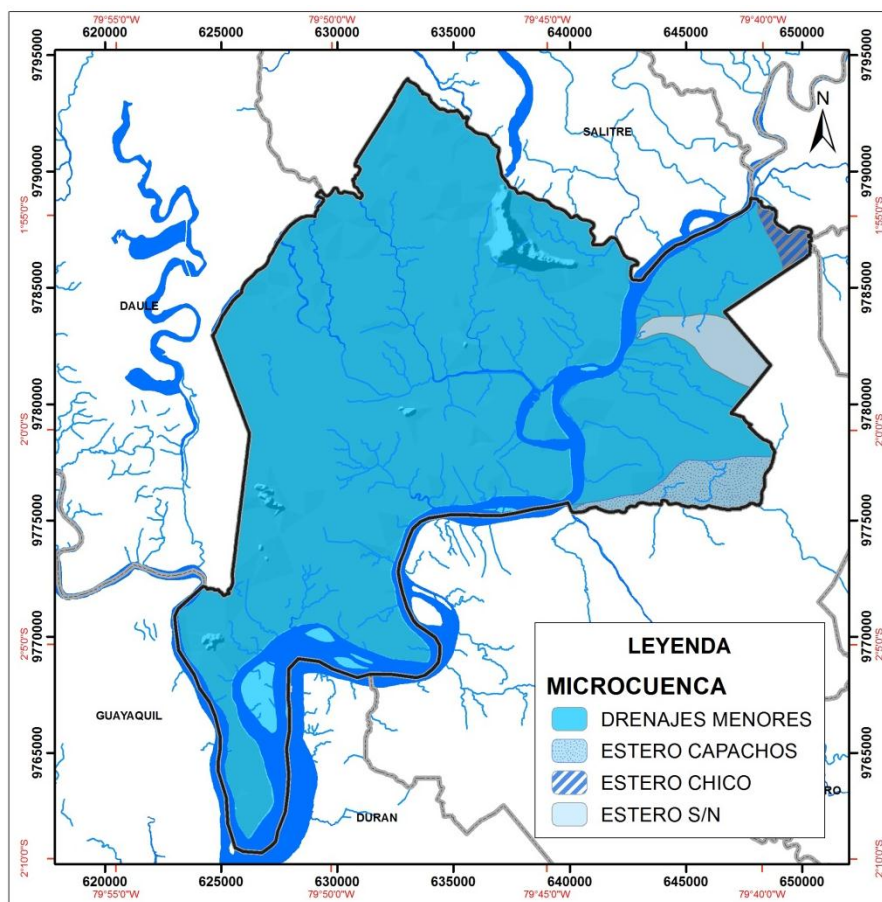


Imagen 12: Microcuencas
Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)
Realizado por Salomé Verduga

- **Riesgos naturales**

Los riesgos naturales se originan al combinar las amenazas con la vulnerabilidad, a continuación se presentan los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del cantón Samborondón.

- **Amenaza por inundación**

En la imagen 13, se muestra las amenazas a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de amenazas por inundación – Anexo 16), en la cual se observan las zonas donde existe una alta amenaza principalmente alrededor del río Babahoyo, lo cual es indiscutible ya que el mismo aumenta su cauce en época lluviosa, produciendo inundaciones por desbordamiento a lo largo del cantón, las zonas donde existe una amenaza media se encuentran en la parte nororiental y noroccidental del cantón y las zonas donde no existe ningún tipo de amenaza son aquellas elevaciones con pendientes mayores al 40% (Mapa de pendientes – Anexo 7).

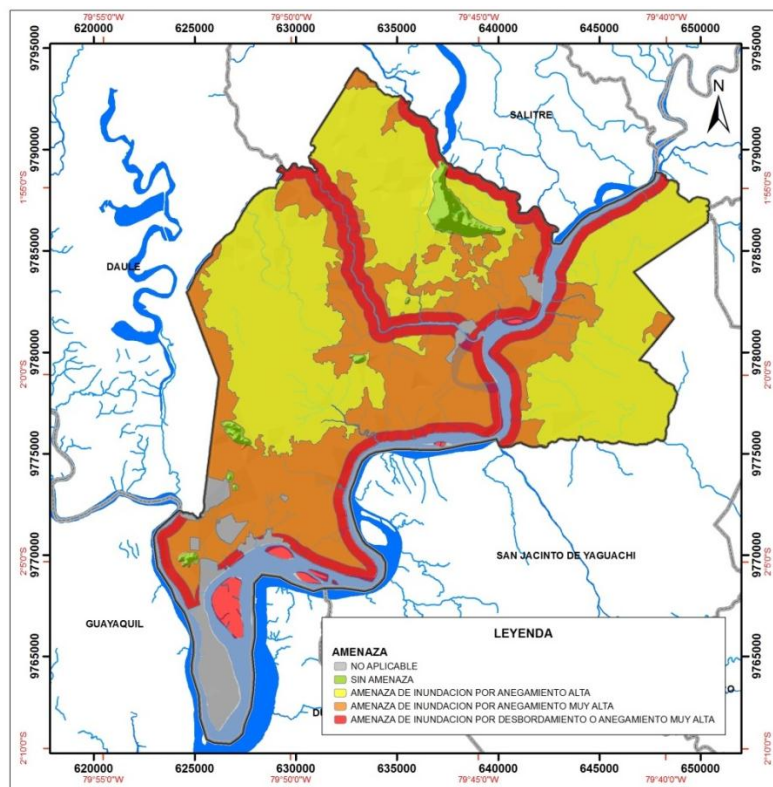


Imagen 13: Amenaza por Inundación
Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)
Realizado por Salomé Verduga

- Vulnerabilidad por inundación

En la imagen 14, se representa la vulnerabilidad a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de vulnerabilidad por inundación – Anexo 17) en donde se observa la vulnerabilidad por inundaciones que afectan al sector económico y a la red vial; se puede concluir que el 54% del sector económico tiene una vulnerabilidad media, el 16% se encuentra en una alta vulnerabilidad y en 5% tiene baja vulnerabilidad con respecto a las inundaciones. Con relación a la red vial el 75% de las vías tiene una vulnerabilidad alta, el 17% muy alta y el 8% restante tiene una vulnerabilidad media y baja de inundaciones.

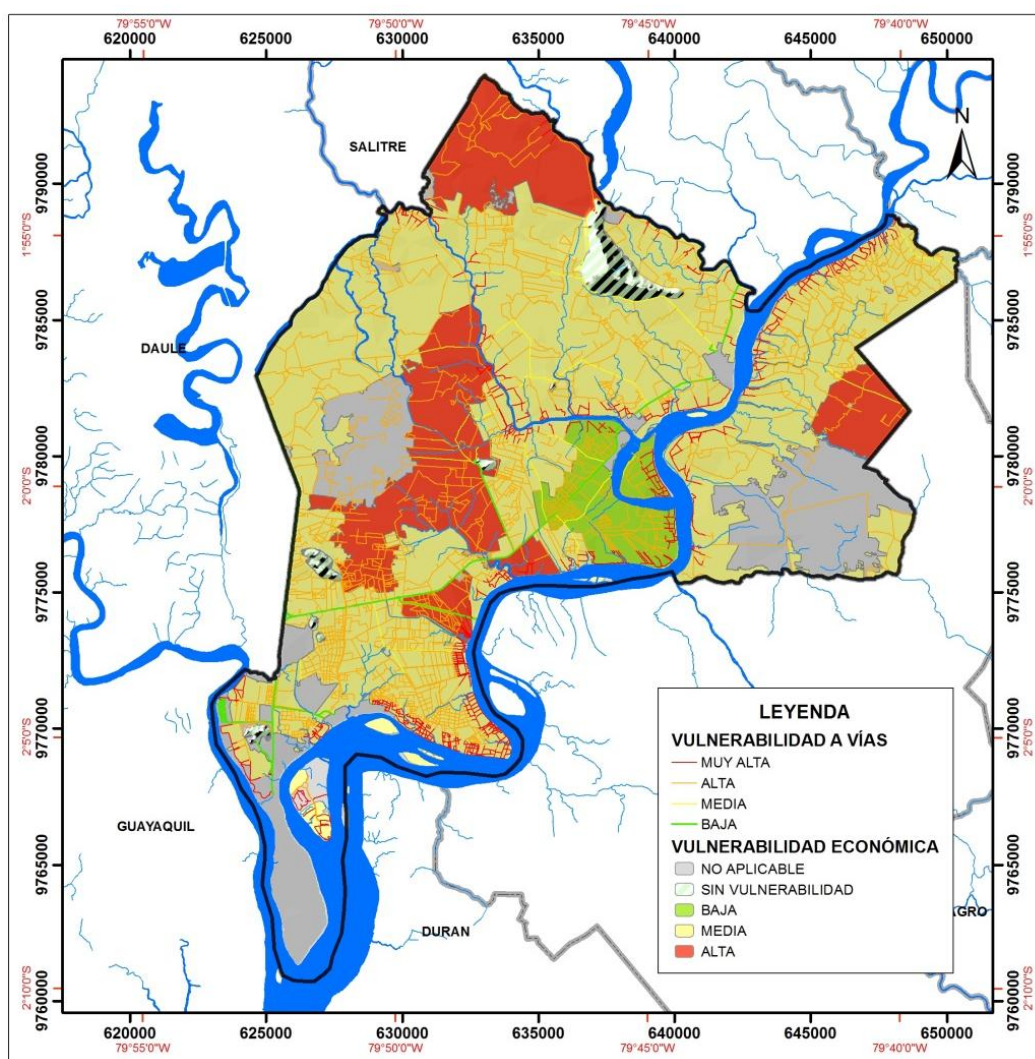


Imagen 14: Vulnerabilidad por Inundación

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

- Riesgos por inundación

En la imagen 15 se observa los riesgos a escala 1:25.000 del Instituto Espacial Ecuatoriano - IEE (Mapa de riesgos por inundación – Anexo 18), la cual representa el riesgo que existe en el cantón hacia el sector económico y hacia la red vial por amenaza de inundaciones, se concluye que el cantón tiene un porcentaje de 46% de alto riesgo, 24% de riesgo medio o moderado y 5% de riesgo muy alto con respecto al sector económico. La red vial tiene porcentajes altos de riesgo, el mapa nos indica que el 58% de las vías se encuentran afectadas con un riesgo muy alto, el 32% tiene un riesgo medio, el 9% un riesgo alto y el 1% restante tiene bajo riesgo.

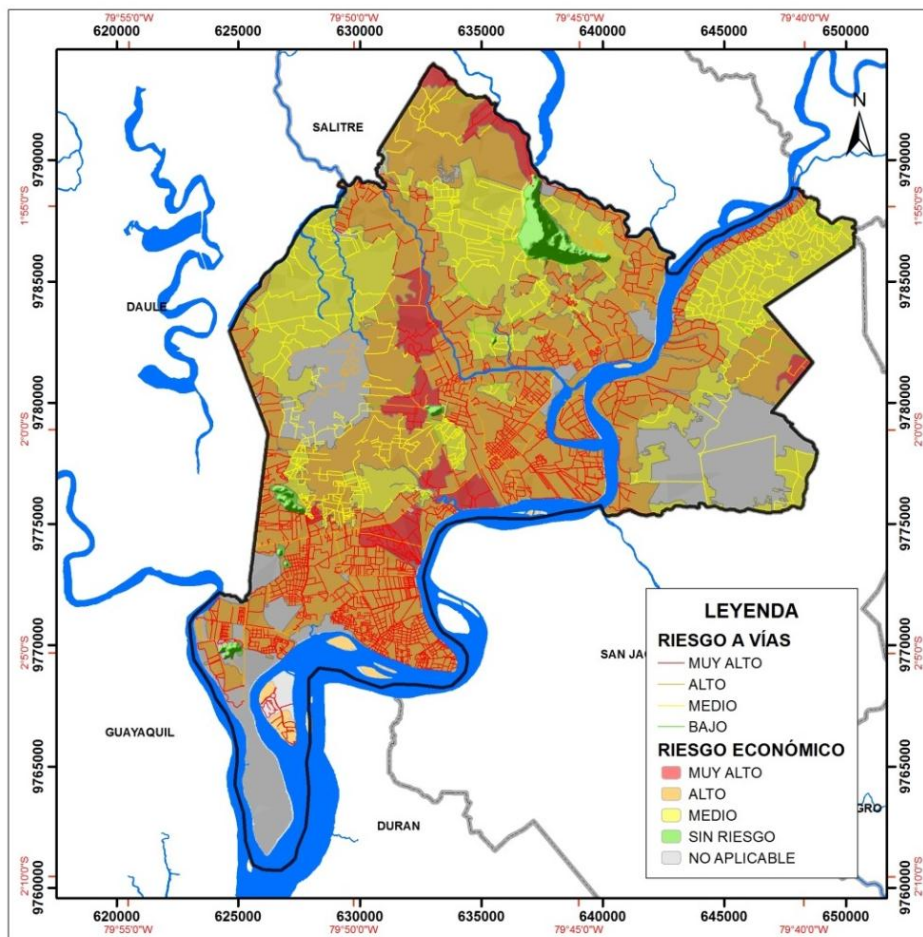


Imagen 15: Riesgos por Inundación

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009)

Realizado por Salomé Verduga

2.2.2. Aspectos de infraestructura y demografía

Se recopiló la información de diferentes temáticas como, población, centros educativos, centros de salud y migración, los que a continuación se muestran en la imagen 16 donde se observa aspectos de infraestructura y demografía del cantón Samborondón (Mapa de aspectos de infraestructura y demografía – Anexo 19), se observa que la población está distribuida por parroquias; la parroquia Samborondón cuenta con la mayor población de 51.634 habitantes, la parroquia Tarifa con 15.956 habitantes, según fuentes del Censo de Población y Vivienda 2010 (Mapa de Población – Anexo 3). Se puede observar que los centros educativos son numerosos, a lo largo del cantón existen 70 centros de educación para los habitantes del mismo. Se evidencian solo 5 centros de salud, los cuales son de primer nivel, 4 son centros de salud y 1 es puesto de salud. Samborondón es un cantón que está en crecimiento por lo que existen más inmigraciones que emigraciones, se tiene el dato de que las personas que han emigrado de este cantón son 1.177, frente a 15.404 habitantes que han inmigrado de otras ciudades, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC (INEC, 2010).

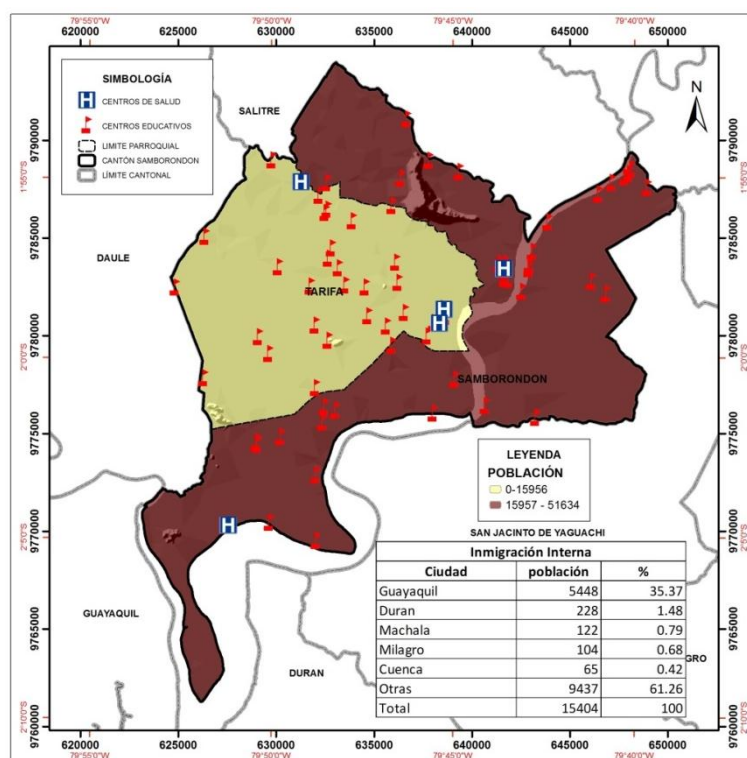


Imagen 16: Aspectos Socioculturales
Fuente: Censo de población y vivienda 2010, Ministerio de Educación 2014,
Ministerio de Salud 2014
Realizado por Salomé Verduga

2.2.3. Aspectos Económicos.

En esta temática se consideró los aspectos económicos por grupo de ocupación y rama de actividad, los cuales se presentan en la imagen 17 (Mapa de aspectos económicos – Anexo 20) donde se especifica el número de trabajadores por parroquia, que corresponde a 5.677 personas trabajan en la parroquia Tarifa y 23.116 en la parroquia Samborondón. El producto principal del cantón, según el mapa de uso del suelo (Mapa de uso de suelo – Anexo 4) es el arroz, debido a que tiene el suelo ideal para el cultivo de este producto. Existen dos proyectos estratégicos cerca del cantón Samborondón, de energía fotovoltaica, son Wildtecsa y Sansau, los cuales se encuentran ubicados en el cantón colindante, Salitre.

Las ramas de actividades representativas en la que los habitantes trabajan, son el comercio al por mayor y menor con 4.758 habitantes dedicados a esta y agricultura, ganadería, silvicultura y pesca con 3.860 habitantes en la parroquia de Samborondón, en la parroquia de Tarifa se dedican 2.859 habitantes a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca que es la actividad principal de la parroquia como se indica en la tabla 5. El grupo de ocupación más característico de la parroquia Samborondón con 4.539 habitantes son los directores y gerentes seguido de las ocupaciones elementales con 4.358 habitantes y profesionales científicos e intelectuales con 3.393 habitantes, respecto a la parroquia Tarifa 2.916 dominan ocupaciones elementales, 492 son agricultores y trabajadores calificados y 472 son trabajadores de los servicios y vendedores tal como se indica en tabla 4.

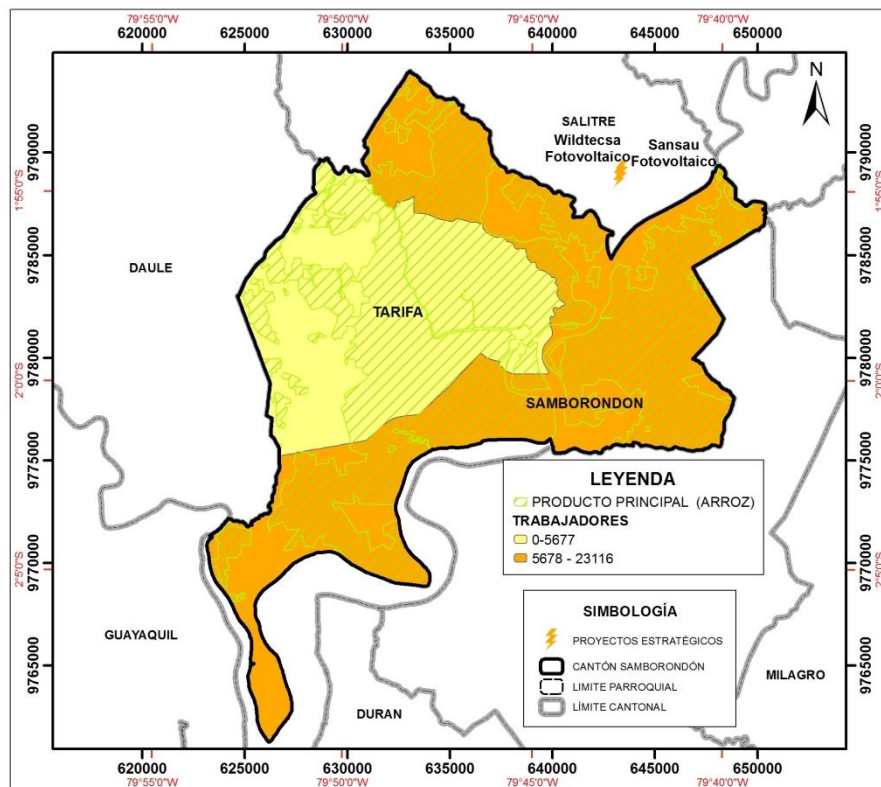


Imagen 17: Aspectos Económicos

Fuente: Censo de población y vivienda 2010, IEE, 2009

Realizado por Salomé Verduga

GRUPO DE OCUPACIÓN DEL CANTÓN SAMBORONDÓN POR PARROQUIA						
Nombre de parroquia	Directores y gerentes	Profesionales científicos e intelectuales	Técnicos y profesionales del nivel medio	Personal de apoyo administrativo	Trabajadores de los servicios y vendedores	Agricultores y trabajadores calificados
SAMBORONDÓN	4539	3393	1777	1385	2709	1001
TARIFA	36	123	41	130	472	492
	Oficiales,	Operadores de	Ocupaciones	Ocupaciones	No declarados	Trabajador

	operarios y artesanos	instalaciones y maquinaria	elementales	militares	o	nuevo
SAMBORONDON	1161	561	4358	34	1507	691
TARIFA	458	171	2916	0	437	401

Tabla 4: Grupo de ocupación del cantón Samborondón por parroquia

Fuente: Censo de población y vivienda 2010 - INEC

Realizado por Salomé Verduga

RAMA DE ACTIVIDAD DEL CANTÓN SAMBORONDOÓN POR PARROQUIA						
Nombre de parroquia	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	Explotación de minas y canteras	Industrias manufactureras	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	Distribución de agua, alcantarillado y gestión de desechos	Actividades inmobiliarias
SAMBORON DON	3860	31	1703	79	72	271
TARIFA	2859	3	221	3	18	4
	Actividades profesionales, científicas y técnicas	Actividades de servicios administrativos y de apoyo	Administración pública y defensa	Enseñanza	Actividades de la atención de la salud humana	
SAMBORON DON	1417	601	665	1196	936	
TARIFA	8	114	84	118	47	
	Construcción	Comercial por mayor y menor	Transporte y almacenamiento	Actividades de alojamiento y servicio de comidas	Información y comunicación	Actividades financieras y de seguros
SAMBORON DON	1256	4758	804	511	518	581

TARIFA	351	406	143	62	9	9
	Artes, entretenimiento y recreación	Otras actividades de servicios	Actividades de los hogares como empleados	Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales	no declarado	Trabajador nuevo
SAMBORON DON	184	311	1165	9	1497	691
TARIFA	12	50	318	0	437	401

Tabla 5: Rama de Actividad del cantón Samborondón por parroquia

Fuente: Censo de población y vivienda 2010 - INEC

Realizado por Salomé Verduga

2.2.4. Aspectos de Asentamientos Humanos.

En seguida se muestra, en la imagen 18 los asentamientos humanos del cantón Samborondón (Mapa de asentamientos humanos – Anexo 21) Existe solo un asentamiento humano jerarquizado como local, no existen asentamientos humanos jerarquizados como metropolitanos, de acuerdo a la jerarquización de asentamientos humanos de la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES. Se observa la vialidad con: una autopista, una vía pavimentada, vías lastradas, caminos de verano, pocos senderos, roderas y calles en la parte urbana. Las líneas de transmisión y subtransmisión eléctrica se encuentran a los largo, de sur a norte y de oeste a este en la parte sur del cantón Samborondón. El mapa representa una red de acueducto únicamente en los centros poblados y a sus alrededores. Los sitios turísticos del cantón están divididos por: alimentación, balnearios, centros de diversión, hoteles y hosterías los cuales se encuentran en la parroquia Samborondón, en la parroquia Tarifa no existe ninguno de los centros turísticos antes mencionados, esto de acuerdo al catastro turístico del Ministerio de Turismo 2002.

Con respecto a la concentración poblacional del cantón, se puede observar en el mapa de población (Mapa de población-Anexo 3) que la mayor densidad de población está en la parroquia Samborondón.

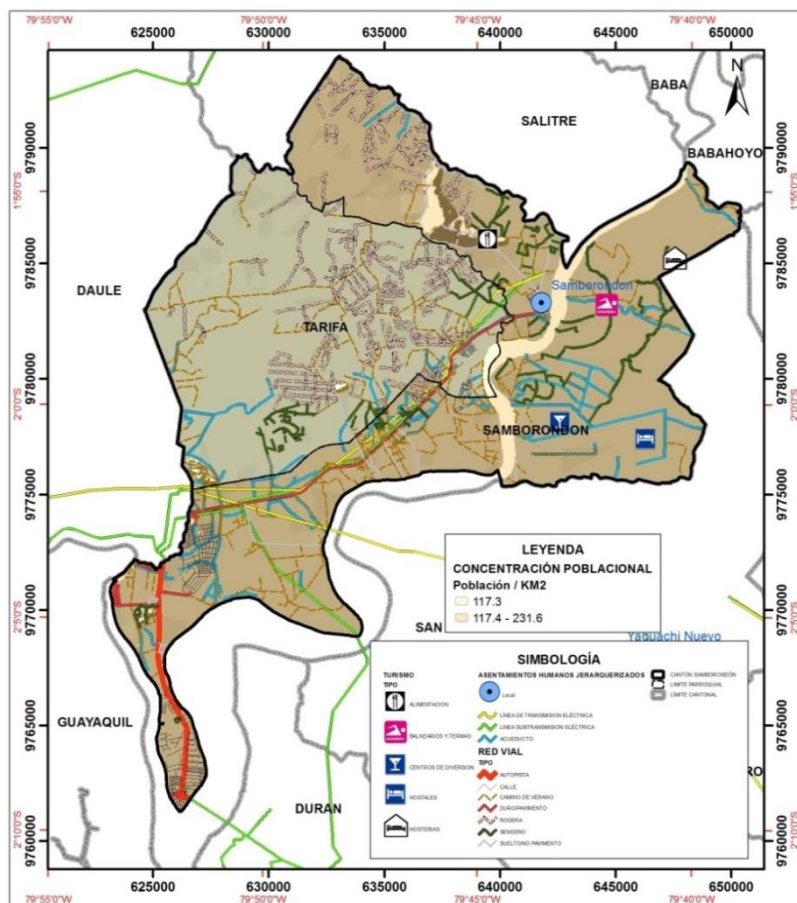


Imagen 18: Asentamientos Humanos

**Fuente: Censo De Población y Vivienda 2010, IGM 2013, SENPLADES 2010, MINISTERIO DE TURISMO 2002
Realizado por Salomé Verduga**

2.2.5. Aspectos de Movilidad, energía y conectividad.

En la imagen 19 se muestra la movilidad, energía y conectividad del cantón Samborondón (Mapa de movilidad, energía y conectividad – Anexo 22) donde existe una amplia red vial como antes se mencionó en el mapa de asentamientos humanos (Mapa de asentamientos humanos – Anexo 21). Las líneas de transmisión y subtransmisión eléctrica, se encuentran distribuidos cubriendo casi toda la zona de estudio.

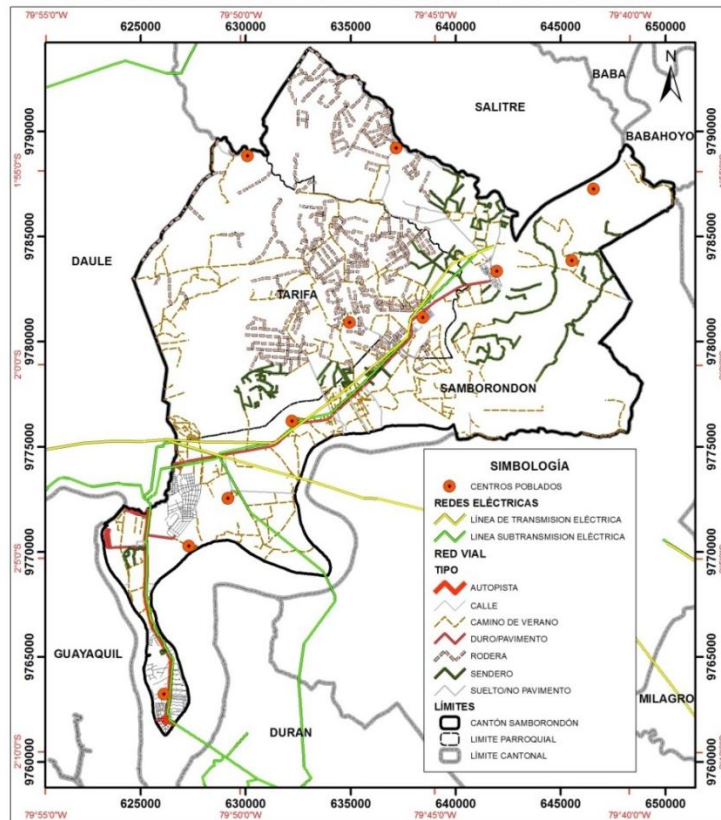


Imagen 19: Movilidad, energía y conectividad

Fuente: IGM 2013

Realizado por Salomé Verduga

Una vez descrito todos los aspectos, biofísicos, riesgos naturales, riesgos por inundación, los aspectos de infraestructura, económicos y asentamientos humanos, se analiza entre sus aspectos más importantes que el cantón Samborondón tiene una altitud que va de los 3 a los 6 msnm., a excepción del cerro Santa Ana que llega hasta los 216 msnm., la cual pertenece a una llanura aluvial, depósitos aluviales que son producto de la interacción del transporte y arrastre fluvial y de la acción de las mareas, teniendo sus dos sistemas hídricos más importantes el Río Daule y Río Babahoyo, en donde un gran porcentaje tiene un uso agropecuario (272 Km²), con una población de 67590 habitantes en una superficie de 389 km², la temperatura promedio anual es de 25 °C, con una precipitación anual de aproximadamente 1000 mm, por su ubicación está influenciada por la corriente del Niño, (aguas caliente de diciembre a abril), por ende se dan grandes precipitaciones que coinciden con mareas altas más la sedimentación del suelo, se producen los desbordamientos (inundaciones), produciéndose pérdidas de tipo material, económica, agrícola, pecuaria y hasta vidas humanas es por eso de gran importancia la ubicación, delimitación y cantidad de esta amenaza de inundación en esta disertación.

3. CAPITULO III

TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS, UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES ÓPTICAS Y DE RADAR EN ÉPOCAS SECAS Y LLUVIOSAS

3.1. SELECCIÓN DE IMÁGENES SATELITALES ÓPTICAS Y DE RADAR, DE ÉPOCAS, SECAS Y LLUVIOSAS PARA LA OBTENCIÓN DE ZONAS INUNDADAS.

Las técnicas de detección de cambios se realizaron con imágenes ópticas, en las que se aplicaron siete técnicas de detección de cambios, por poseer bandas multispectrales, a diferencia de las imágenes de radar, en la que se aplicaron tres técnicas por poseer una banda.

A continuación se muestra el sitio web, las imágenes ópticas recopiladas (imagen 20 e imagen 21), con sus respectivas características (tabla 6 y 7):

<https://glovis.usgs.gov/>

Época Seca:

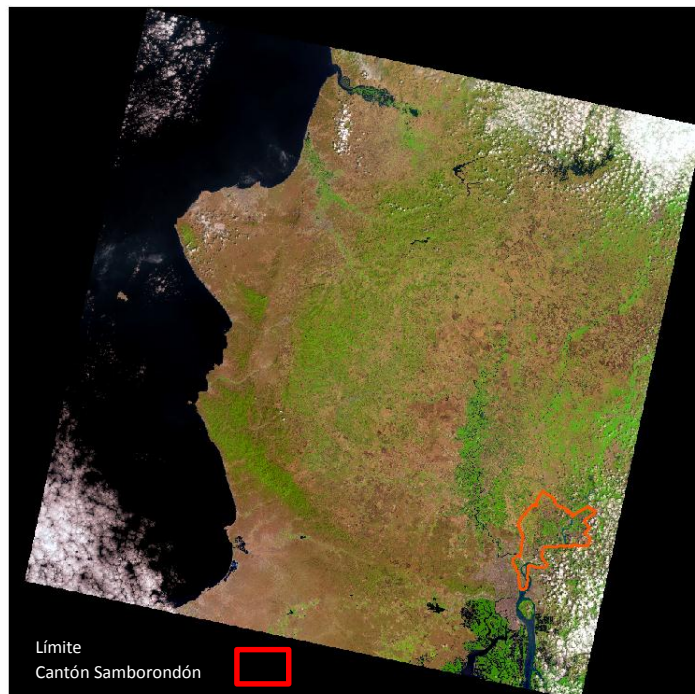


Imagen 20: Imagen LANDSAT 8 de época seca
Fuente: <https://glovis.usgs.gov/> 27/NOVIEMBRE/2016

Época lluviosa:

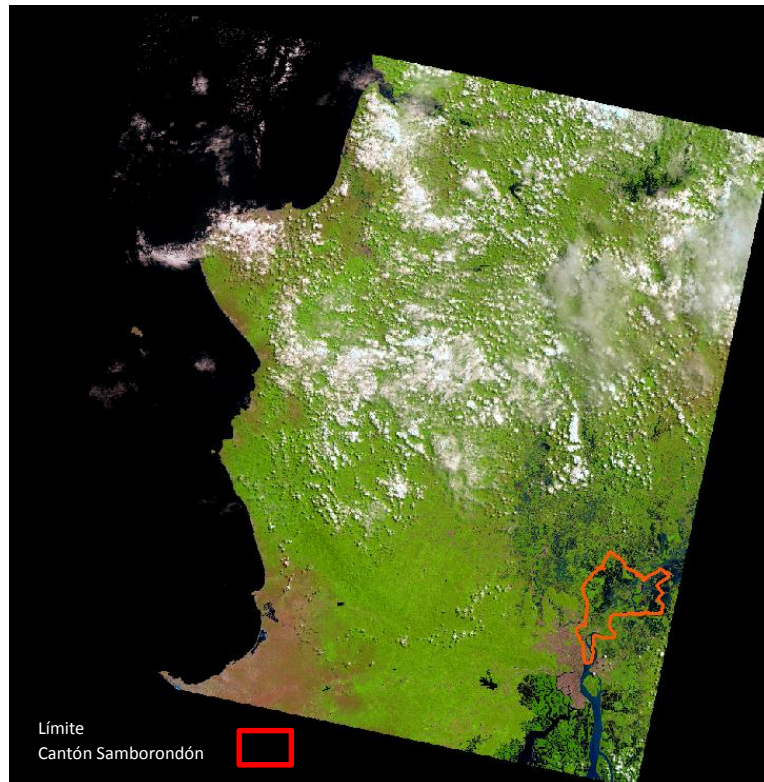


Imagen 21: Imagen LANDSAT 8 de época lluviosa

Fuente: <https://glovis.usgs.gov/> 03/MAYO/2016

Características de las imágenes LANDSAT 8:

Procesamiento:	Nivel 1 T-Corrección geométrica
Tamaño de píxel:	Bandas OLI multiespectrales 1-7,9: 30-metros Banda OLI pancromática 8: 15-metros Bandas TIRS 10-11: tomadas en 100 metros, pero remuestreadas a 30 metros para que coincida con las bandas multiespectrales de OLI
Características de los datos:	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de datos GeoTIFF • Remuestreo por convolución cúbica (CC) • Norte arriba (MAP) de orientación • Proyección cartográfica: Universal Transversal Mercator (UTM) (estereográfica polar de la Antártida) • Datum al Sistema Geodésico Mundial (WGS) 84 • 12 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para OLI • 41 metros de error circular, 90% de confianza exactitud global para TIRS • Los valores de píxel en 16 bits
Entrega de datos:	Archivo comprimido .Tar.gz y de descarga a través de HTTP
Tamaño de archivo:	Aproximadamente 1 GB (comprimido), aproximadamente 2 GB (sin comprimir)

(USGS. 2013)

Tabla 6: Características de las imágenes LANDSAT 8

Fuente: (Ariza & IGAC, 2013)

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) February 11, 2013	Bandas	longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
	Banda 1 - Aerosol costero	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Rojo	0.64 - 0.67	30
	Banda5 – Infrarrojo cercano (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Banda 8 - Pancromático	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	*Banda 10 – Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
*Banda 11 - Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100	

(USGS. 2013)

Tabla 7: Fuente: (Ariza & IGAC, 2013)

A continuación se muestra el sitio web, las imágenes de radar recopiladas (imagen 22 e imagen 23), con sus respectivas características (tabla 8):

RADAR: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

Época Seca:

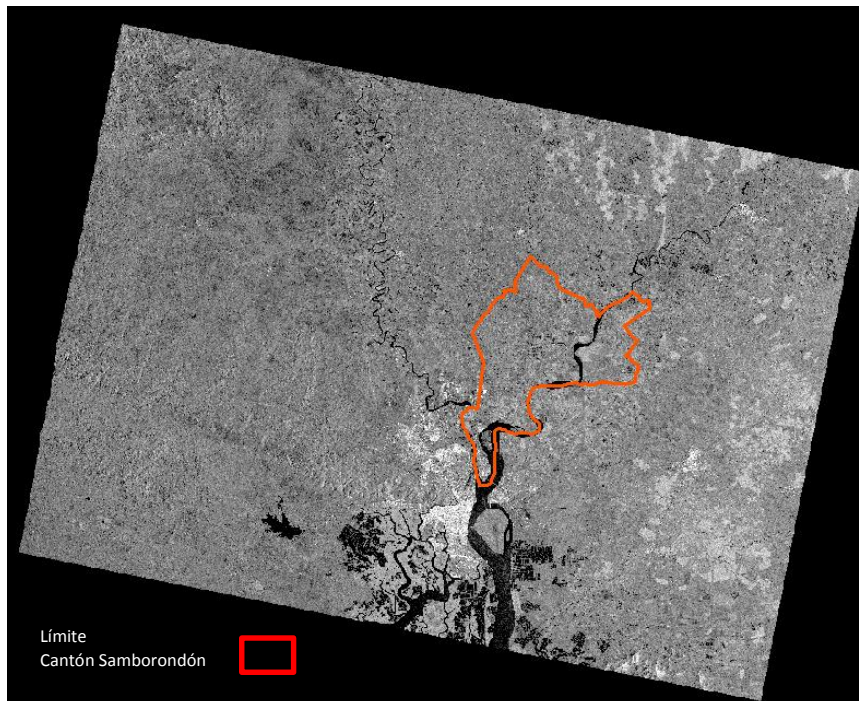


Imagen 22: Imagen RADAR Sentinel 1 de época seca

Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> 29/SEPTIEMBRE/2015)

Época Lluviosa:

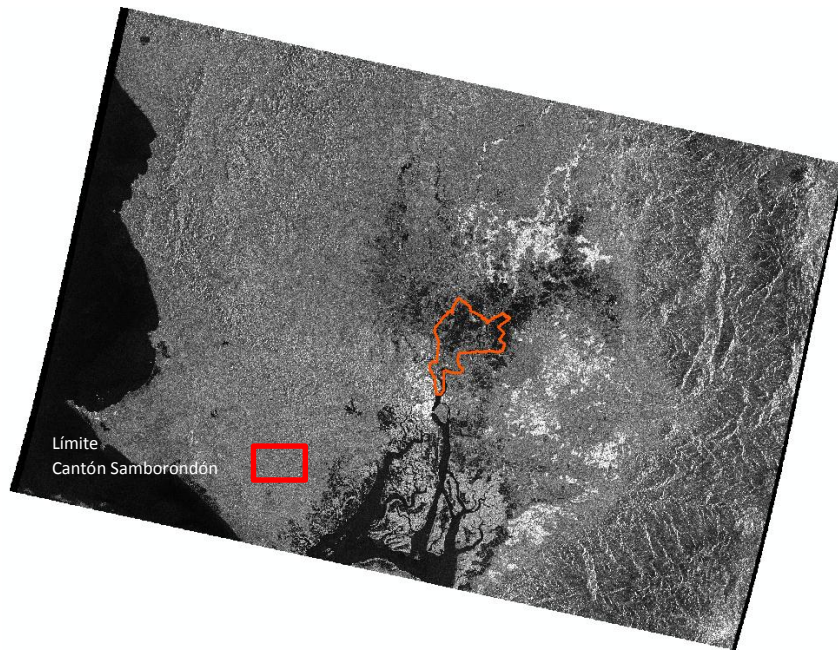


Imagen 23: Imagen RADAR Sentinel 1 de época lluviosa

Fuente: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> 20/MARZO/2017

Parámetros	SENTINEL 1
Altitud de Órbita	693km
Bandas Radar	C-Band
Modo de imagen SAR	Stripmap (GSD: 5m, 80km swath), Interferometric Wide Swath Mode (GSD: 5x20m, 240km swath), Extra Wide Swath Mode (400km Swath, single-look), Wave Mode (20x5m).
Polarización	VV+VH or HH+HV
Distancia de Muestreo (GSD)	5-20m
Lanzamiento/Expectativa de vida	2014-2021
Tiempo Revisita	12 días

Tabla 8: Características de las imágenes del satélite Sentinel 1 RADAR

Fuente: (Geocento, 2015)

3.1.1. Evaluación y validación de la información.

Cartografía temática: La información temática, fue recopilada de diferentes instituciones del Ecuador con escalas 1:25.000, 1:50.000 y 1:250.000, para la presente disertación, la escala de trabajo fue 1:25.000 en la que se realizaron los correspondientes análisis espaciales, mientras que las escalas menores se utilizaron como referencia descriptiva (atributos).

Imágenes Satelitales: Las imágenes recopiladas Landsat, de las dos épocas en el área de estudio, tienen un porcentaje mínimo de nubes, por lo cual fue factible la realización de la disertación. Las imágenes de RADAR, por su longitud de onda permiten atravesar las nubes lo cual es óptimo.

También, se evaluó el tamaño del pixel de las imágenes Landsat (30m) y de RADAR (10m), con lo que se pudo conseguir una buena delimitación de las zonas inundadas.

3.2. AJUSTE RADIOMÉTRICO DE IMÁGENES.

- **Ajuste Radiométrico a imágenes ópticas (LANDSAT).**

Para el ajuste radiométrico de las imágenes, se homogeneizaron cada una de las bandas, convirtiéndolas a imágenes de reflectancia, usando para ello los coeficientes de reflectancia reescalados, suministrados en el archivo de metadatos (MTL) del archivo de las imágenes Landsat. La ecuación 1 que se muestra a continuación es usada para convertir los ND (niveles digitales) a valores de reflectancia:

$$\rho\lambda' = M_p Q_{cal} + A_p$$

Donde:

$\rho\lambda'$ = Es el valor de reflectancia planetaria, sin corrección por ángulo solar. Note que $\rho\lambda'$ no contiene una corrección por el ángulo solar.

M_p = Es el factor multiplicativo de escalado específico por banda obtenido del metadato **REFLECTANCE_MULT_BAND x**, donde x es el número de la banda).

A_p = Es el factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del metadato **REFLECTANCE_ADD_BAND x**, donde x es el número de la banda).

Q_{cal} = Es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

Ecuación 1: Formula para ajustar radiométricamente las imágenes ópticas

Fuente: (Ariza & IGAC, 2013)

Con respecto a lo antes mencionado, en la tabla 7 en donde constan las bandas de Landsat 8, además se tiene el metadato (información del dato), con la extensión MTL (ver imagen 24), en donde se especifica el nombre de cada banda.

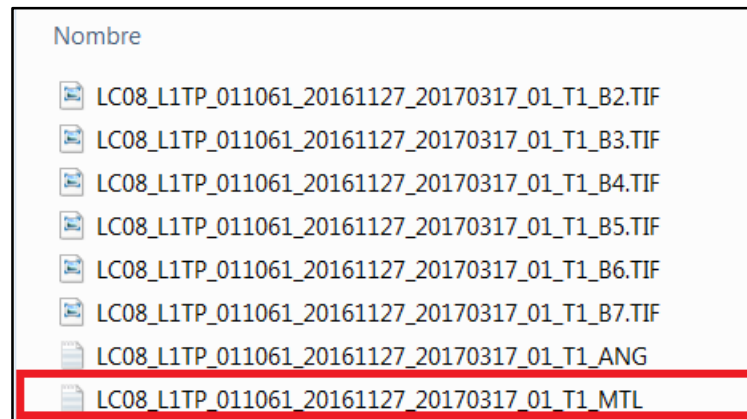


Imagen 24: Captura de pantalla del archivo metadato de la Imagen LANDSAT 8

El factor multiplicativo y el factor aditivo, se encontraron en el archivo de metadatos de las imágenes Landsat, a continuación se presentan dichos coeficientes para las dos imágenes:

Imagen de época seca 27/NOVIEMBRE/2016 metadato (MTL)

Reflectancia Multiplicativa de cada banda

REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05

Reflectancia Aditiva de cada banda

REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000

Imagen de época lluviosa 03/MAYO/2016 metadato (MTL)

Reflectancia Multiplicativa de cada banda

REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05

Reflectancia Aditiva de cada banda

REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.100000

REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000

REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000

Se aplicó la fórmula (ecuación 1), utilizando el software Erdas Image, el modelo se muestra en la imagen 25.

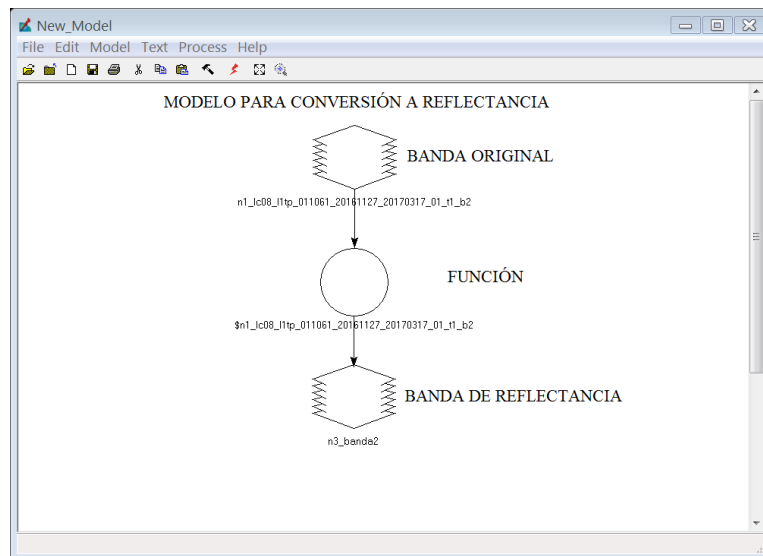


Imagen 25: Modelo para conversión a reflectancia (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE)

Realizado por Salomé Verduga

En la imagen 26, se muestra el procedimiento utilizado en el software Erdas Image.

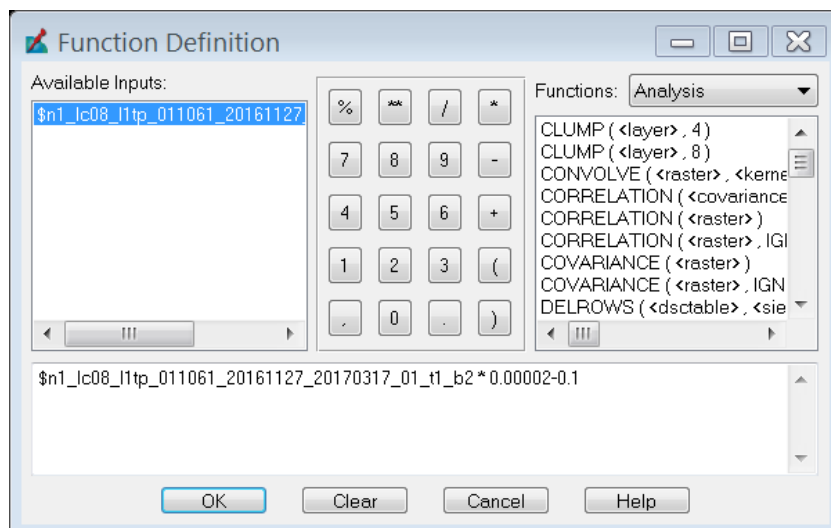


Imagen 26: Fórmula para conversión a reflectancia (Herramienta Model Marker, Función – ERDAS IMAGINE)

Realizado por Salomé Verduga

En seguida, en la imagen 27, se muestra la imagen original vs la imagen de reflectancia:

Original

Imagen convertida a Reflectancia

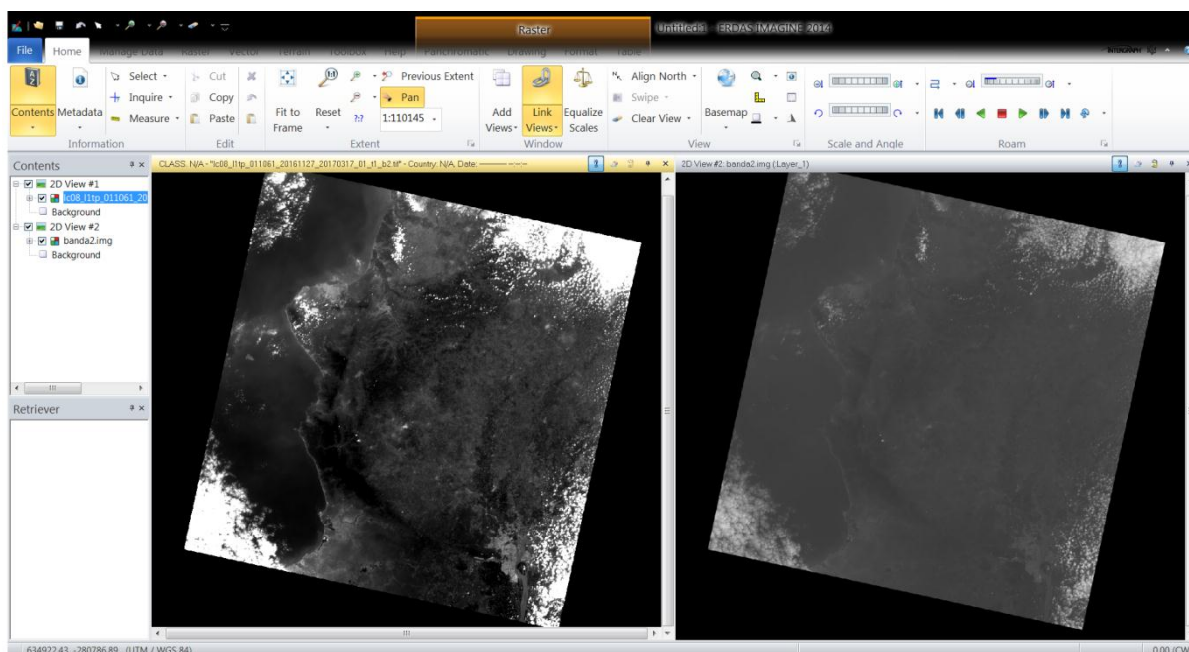


Imagen 27: Resultado de conversión a reflectancia

Realizado por Salomé Verduga

Los metadatos se muestran en la imagen 28 para conocer los valores mínimos y máximos tanto de la imagen original y la de reflectancia.

Original

Imagen convertida a Reflectancia

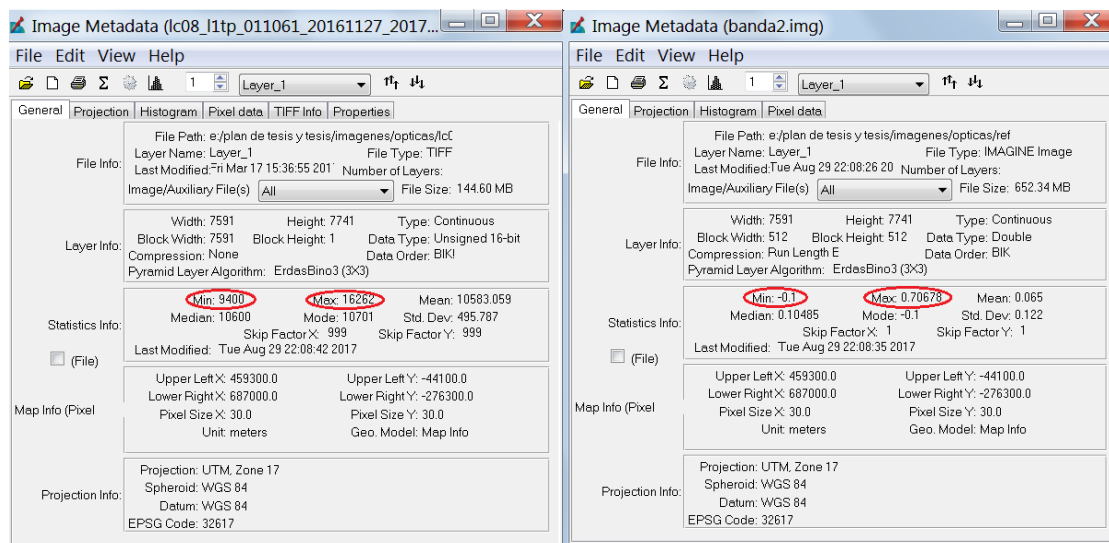


Imagen 28: Valores mínimos y máximos de la imagen original vs imagen de reflectancia

En el metadato, se observa que los valores mínimos y máximos de la imagen original van de 9400 a 16262 y en la imagen de reflectancia los valores van desde -0.1 a 0.70678, lo que indica que la imagen se ha homogeneizado a valores de reflectancia.

Este procedimiento se aplicó a las bandas de la 2-7 (azul, verde, roja, infrarroja cercana, infrarroja de onda corta 1 y 2) de la imagen de época seca y a la imagen de época lluviosa, como se muestra en las imágenes de la 29 a la 40, no se realizó de la banda 1 (ultravioleta), 8 (pancromática), 9 (cirrus) y de la 10 y 11 (bandas termales) ya que en las técnicas de la presente disertación no son necesarias.

Imagen de época seca (27/NOVIEMBRE/2016)

A continuación se expone la conversión a reflectancia de cada una de las bandas.

Banda 2

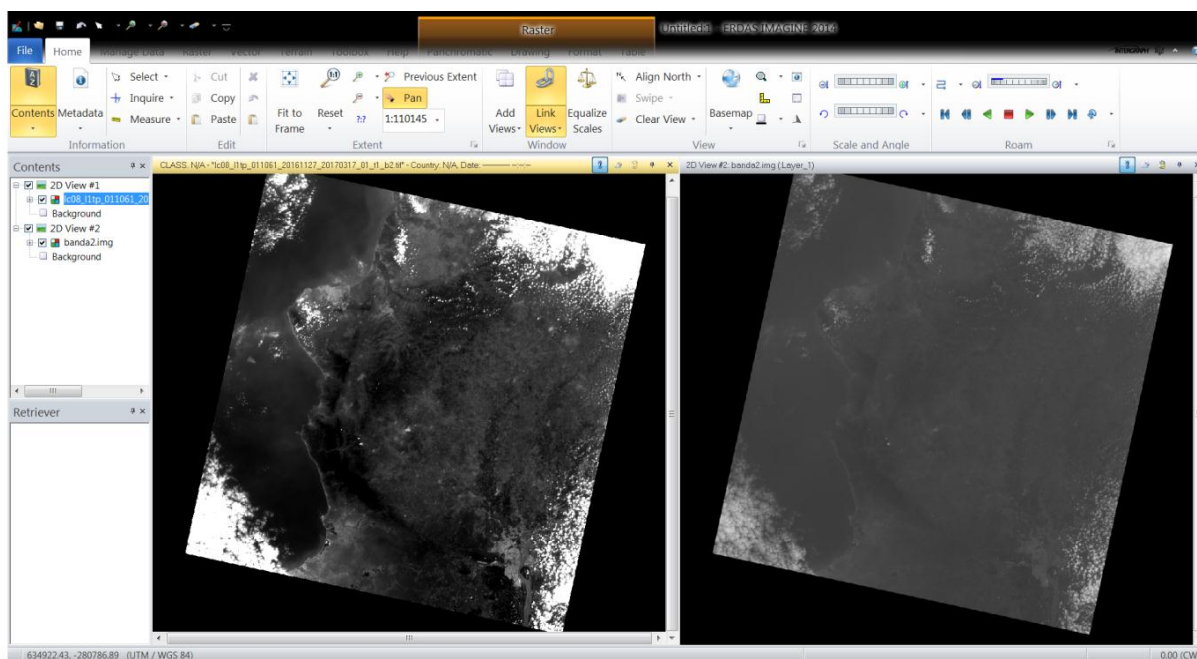


Imagen 29: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 2

Realizado por Salomé Verduga

Banda 3

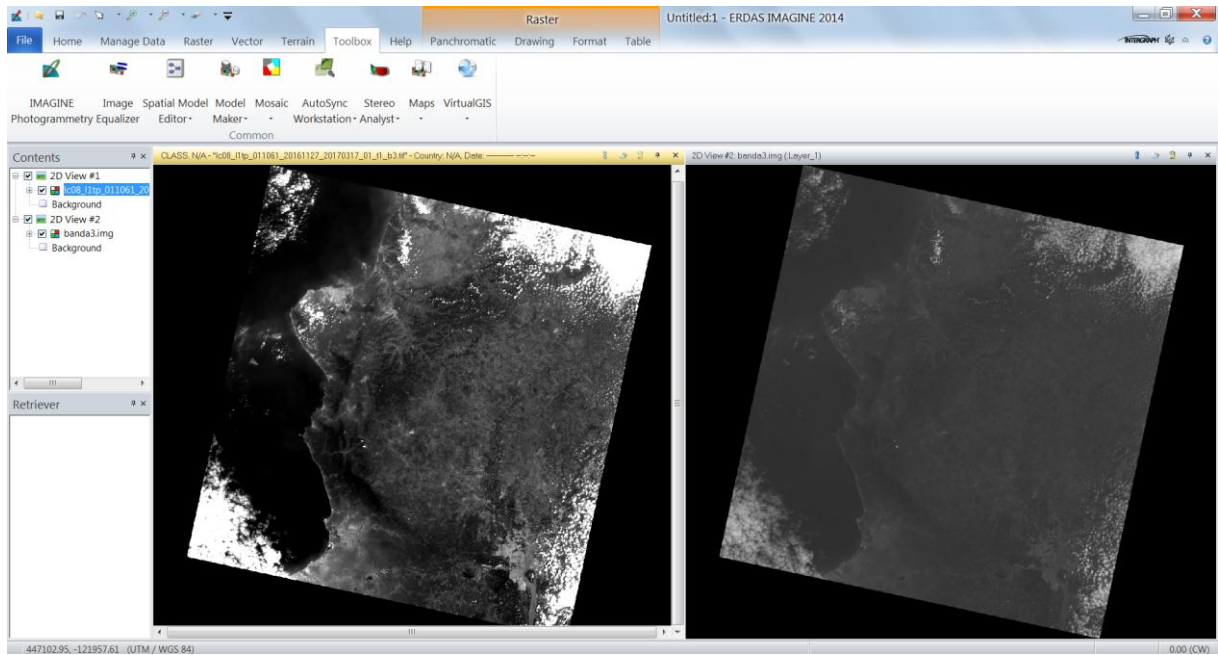


Imagen 30: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 3

Realizado por Salomé Verduga

Banda 4

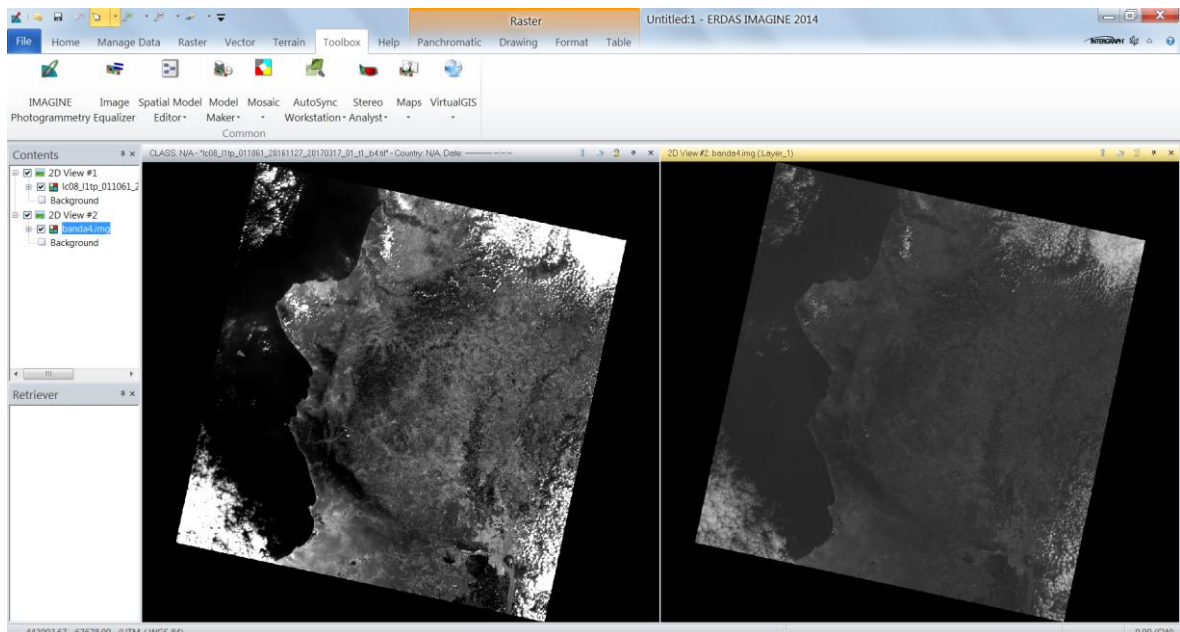


Imagen 31: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 4

Realizado por Salomé Verduga

Banda 5

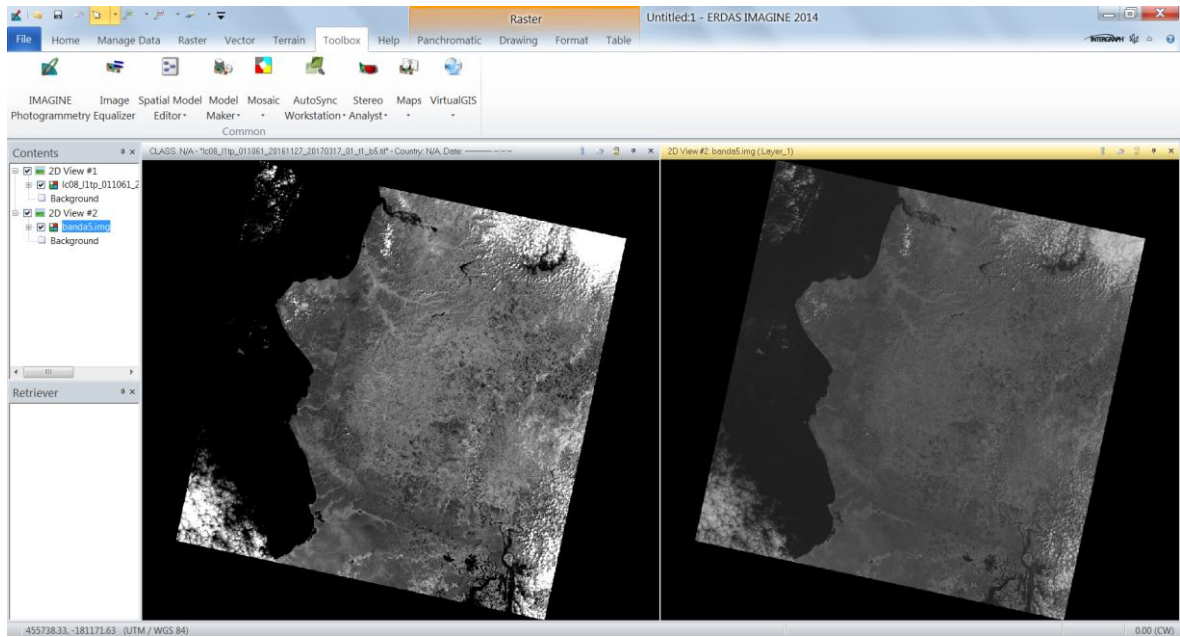


Imagen 32: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 5

Realizado por Salomé Verduga

Banda 6

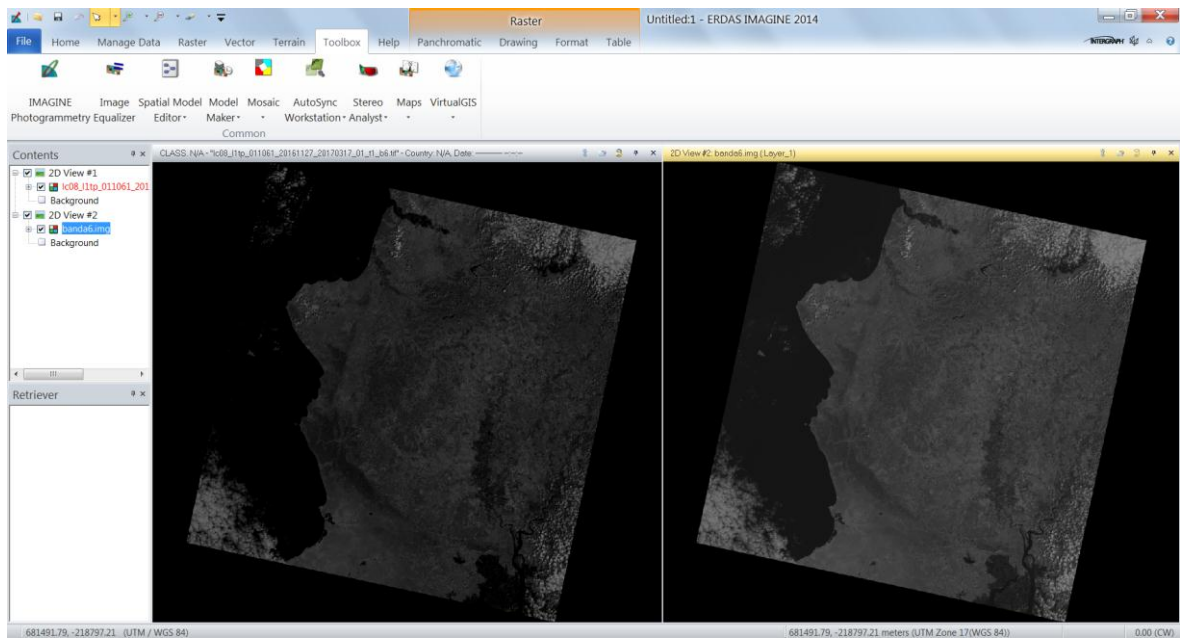


Imagen 33: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 6

Realizado por Salomé Verduga

Banda 7

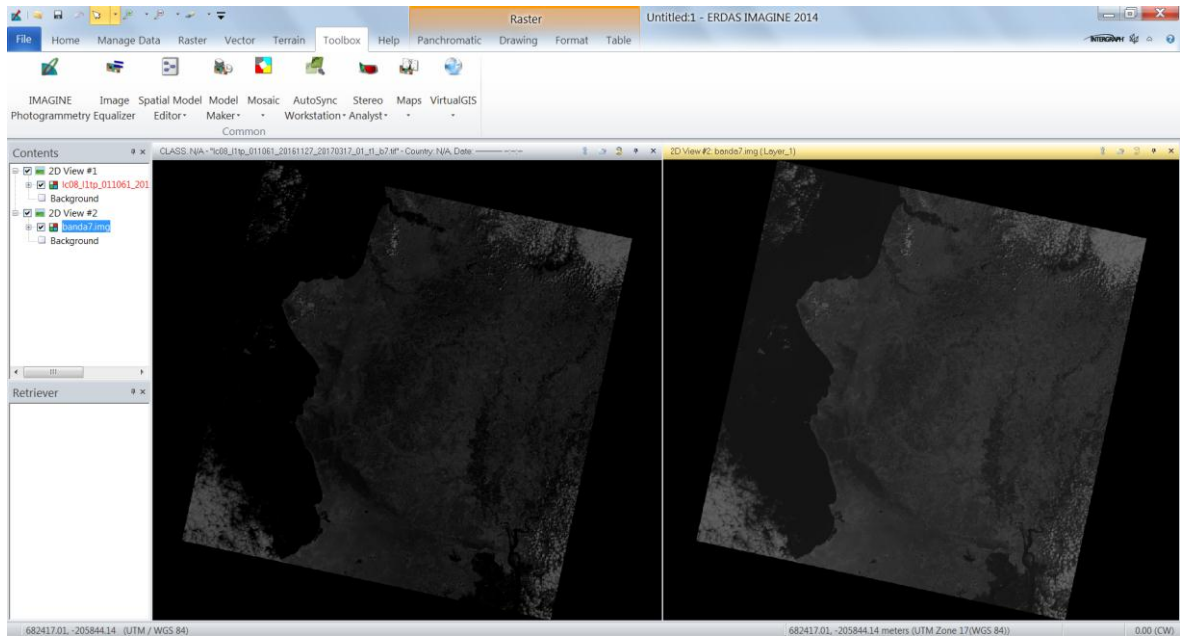


Imagen 34: Conversión a reflectancia de imagen de época seca Banda 7

Realizado por Salomé Verduga

Imagen de época lluviosa (03/MAYO/2016)

A continuación se presenta la conversión a reflectancia de cada una de las bandas.

Banda 2

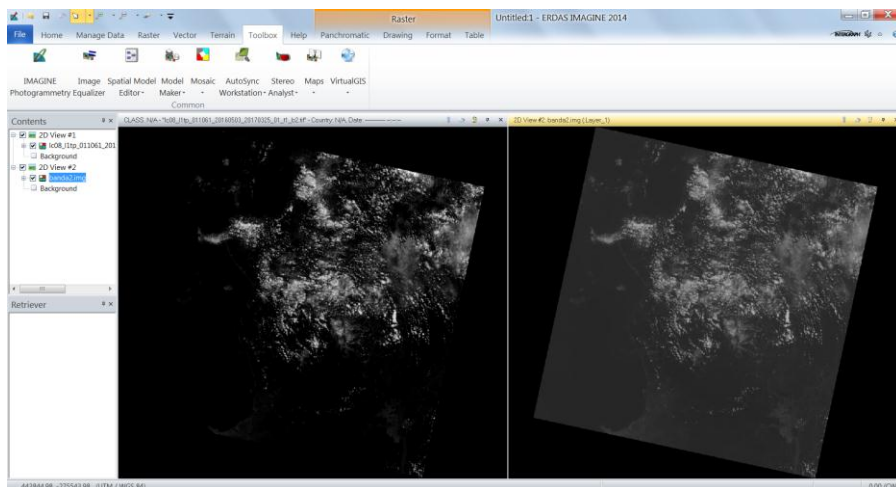


Imagen 35: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 2

Realizado por Salomé Verduga

Banda 3

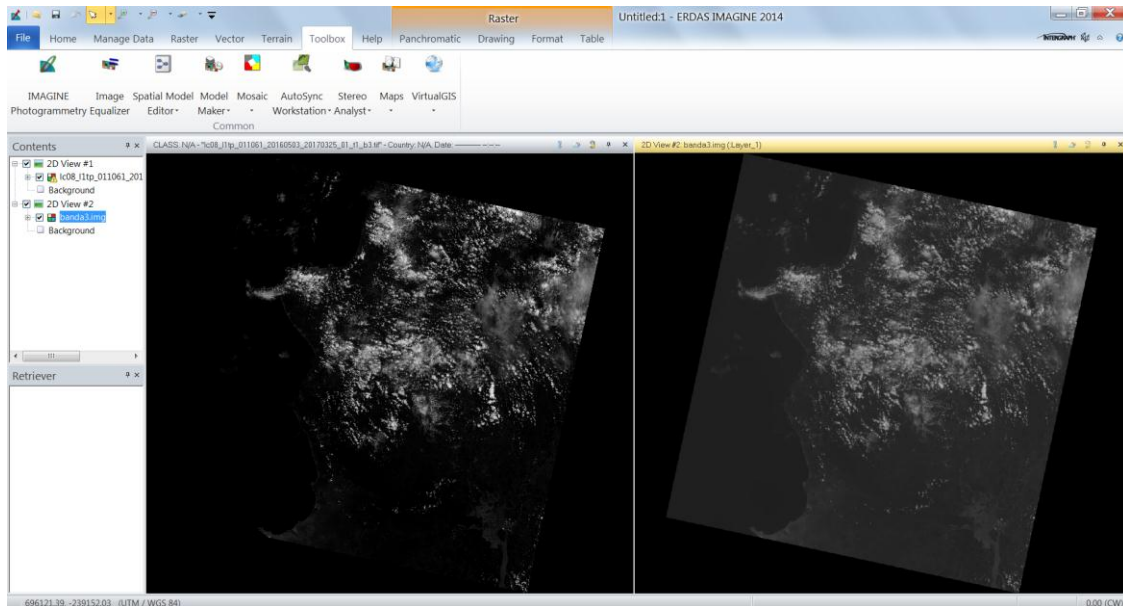


Imagen 36: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 3

Realizado por Salomé Verduga

Banda 4

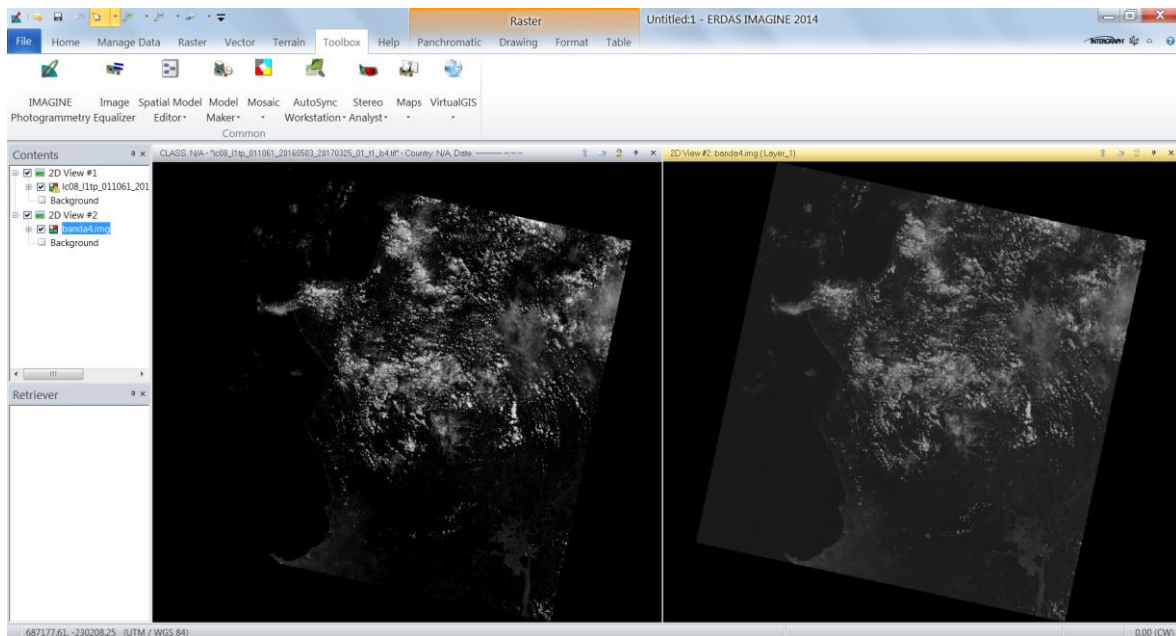


Imagen 37: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 4

Realizado por Salomé Verduga

Banda 5

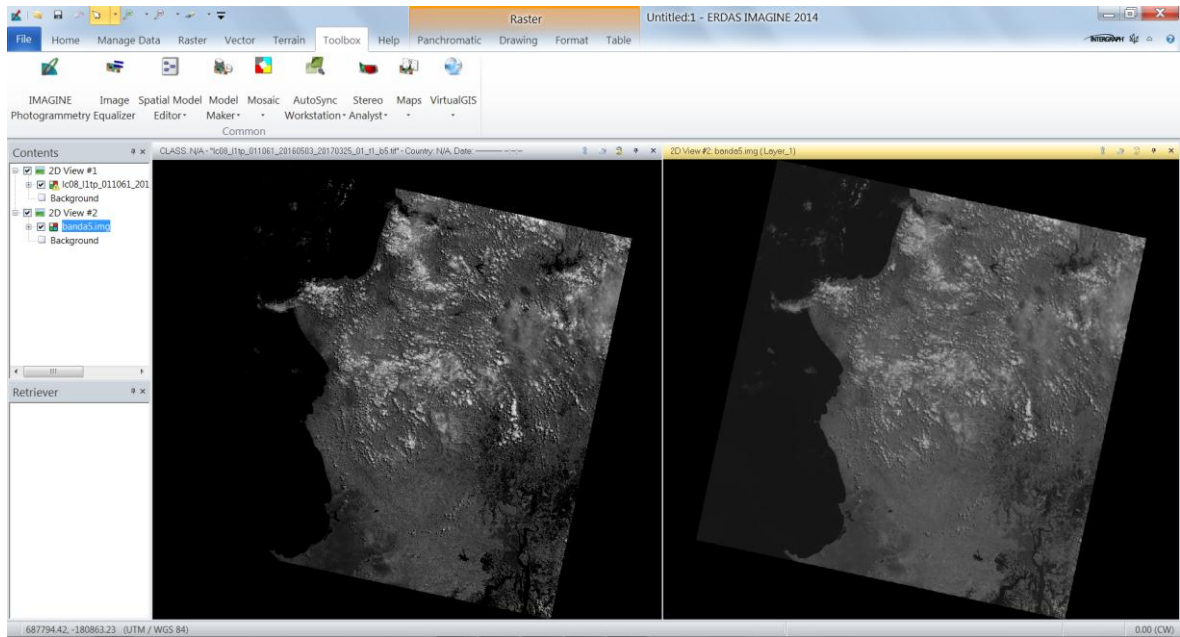


Imagen 38: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 5

Realizado por Salomé Verduga

Banda 6

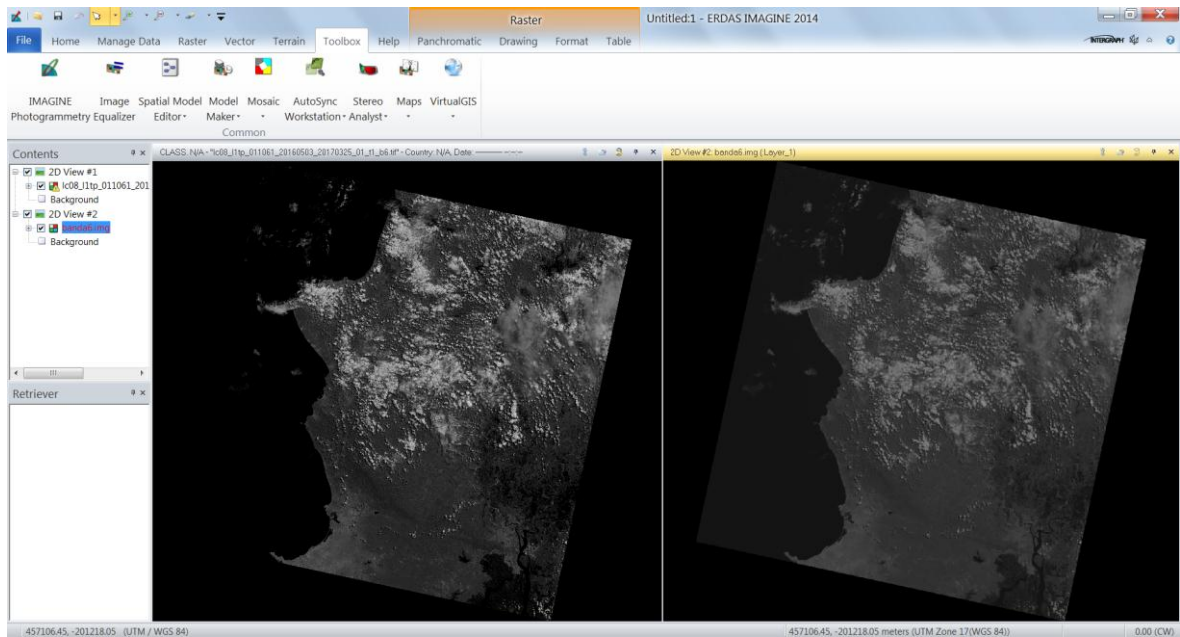


Imagen 39: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 6

Realizado por Salomé Verduga

Banda 7

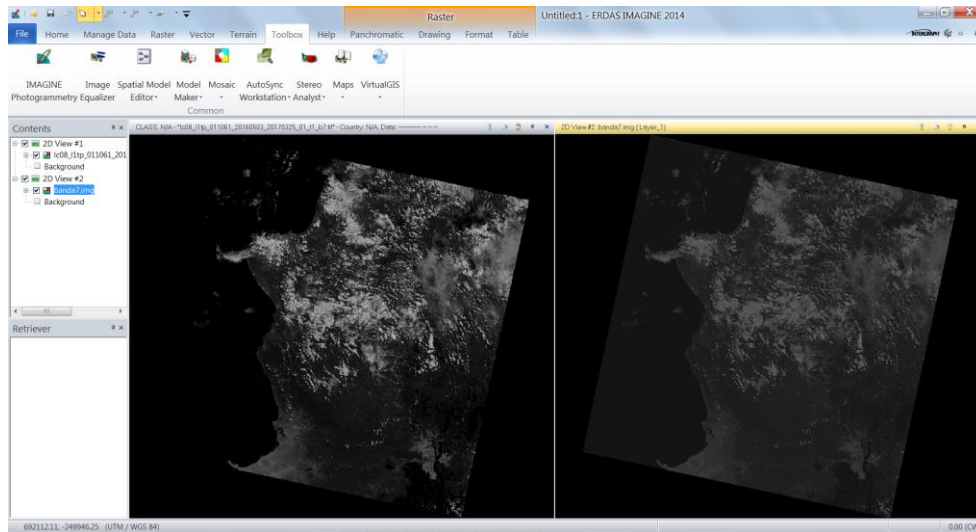


Imagen 40: Conversión a reflectancia de imagen de época lluviosa Banda 7

Realizado por Salomé Verduga

Se realizó la composición a color, de las bandas de reflectancia de la imagen de época seca y época lluviosa, tal como se muestra en la imagen 41 y 42.

Composición a color (SWIR1, NIR, Rojo-RGB) de la imagen de reflectancia de época seca (27/Noviembre/2016)

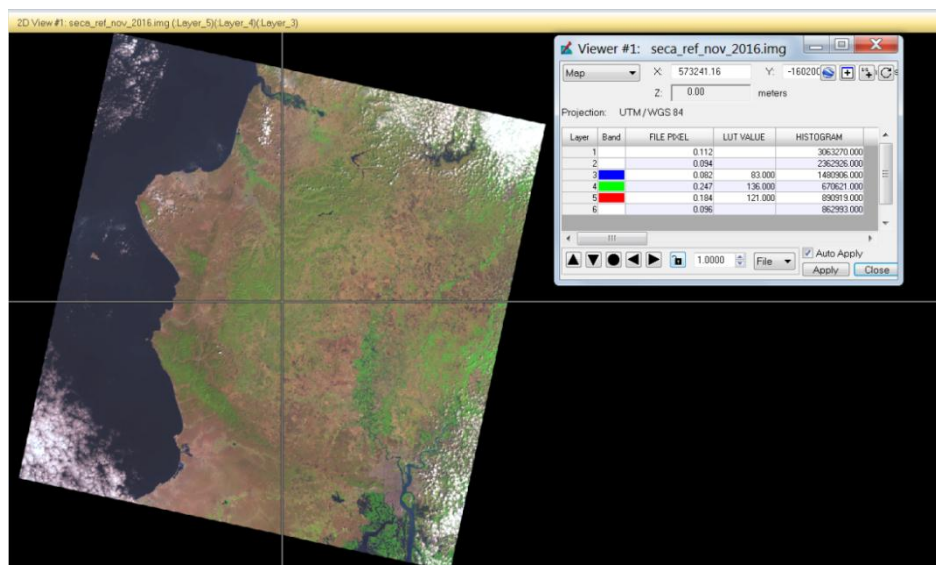
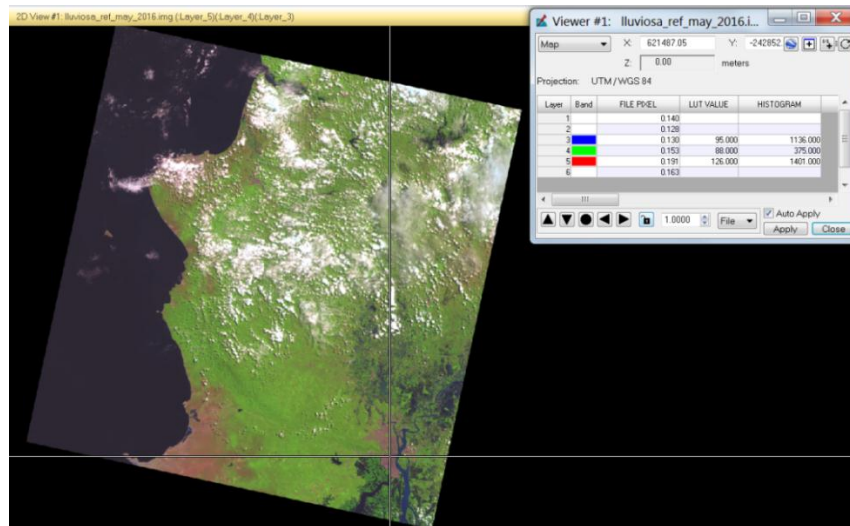


Imagen 41: Composición a color (SWIR1, NIR, Rojo-RGB) de la imagen de reflectancia de época seca (27/Noviembre/2016)

Realizado por Salomé Verduga

En la imagen de reflectancia, se aprecia que los valores de cada uno de los pixeles están entre 0 para grises oscuros y 1 para grises claros.

Composición a color (SWIR1, NIR, Rojo-RGB) de la imagen de reflectancia de época lluviosa (03/Mayo/2016)



**Imagen 42: Composición a color (SWIR1, NIR, Rojo-RGB) de la imagen de reflectancia de época lluviosa (03/Mayo/2016)
Realizado por Salomé Verduga**

En la imagen de reflectancia, se aprecia que los valores de cada uno de los pixeles están entre 0 para grises oscuros y 1 para grises claros.

Por tanto con las imágenes de reflectancia, se procedio a seleccionar el área de estudio, con el fin de realizar el ajuste geométrico en esta zona, para lo cual se efectuó un corte de forma rectangular tal como se muestra en la imagen 43:

Época Seca

Época Lluviosa

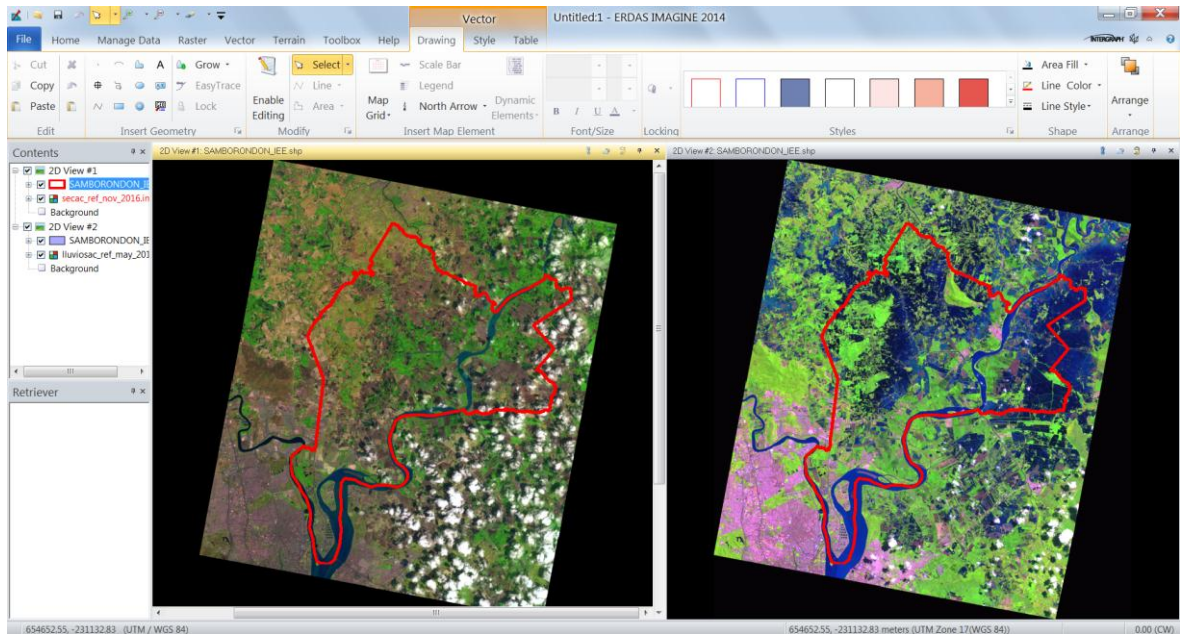


Imagen 43: Corte rectangular de las imágenes ópticas en el área de estudio

Realizado por Salomé Verduga

- **Ajuste radiométrico a imágenes de RADAR (Sentinel)**

Con las imágenes de RADAR, no se realizó el ajuste radiométrico, debido a que éstas tienen una longitud de onda que atraviesa las nubes (Banda C), en consecuencia no existe errores (dispersión) producidos por la atmosfera.

3.3. AJUSTE GEOMÉTRICO DE LAS IMÁGENES

- **Ajuste geométrico de las imágenes ópticas (LANDSAT 8)**

Una vez seleccionadas y cortadas las imágenes, se procedió a georreferenciarlas, para esta actividad se utilizó la cartografía básica del IGM a escala 1:50.000, en la que se escogieron puntos comunes en la imagen y la carta, como cruce de vías, presas, desembocaduras de ríos que no sean muy dinámicos, ejemplo no colocar puntos en línea de costa o embalses, para este caso no ingresar puntos en el río Babahoyo y Guayas, debido a que estos cambian el cauce constantemente, el número de puntos depende del tamaño y complejidad de la imagen (zona plana o con relieve), si estas son complejas se emplearán ecuaciones de segundo o tercer orden, ingresando un número mayor de

puntos, de acuerdo a la ecuación (ecuación de primer orden son necesarios 3 puntos, de segundo 6 puntos y tercero 10 puntos como mínimo), los puntos deben estar distribuidos uniformemente sobre toda la imagen, lo que evitará errores debidos a una ponderación excesiva de algún sector de la misma. El siguiente proceso fue calcular las funciones de transformación entre las coordenadas de la imagen y los de la carta y como último paso se realizó la transferencia de los niveles digitales originales a la nueva posición, definida por la transformación (Chuvieco, 2010).

Paso 1: Asignación de puntos de control

Para la asignación de puntos de control, se realizó una composición a color (ver imagen 44) con las bandas: infrarroja media (SWIR1), infrarroja cercana (NIR) y la Roja (Bandas 6, 5, 4 RGB), además se utilizó la banda pancromática (ver imagen 44) para poder identificar mejor los objetos.

Composición a color RGB (SWIR1,NIR,R)

Pancromática

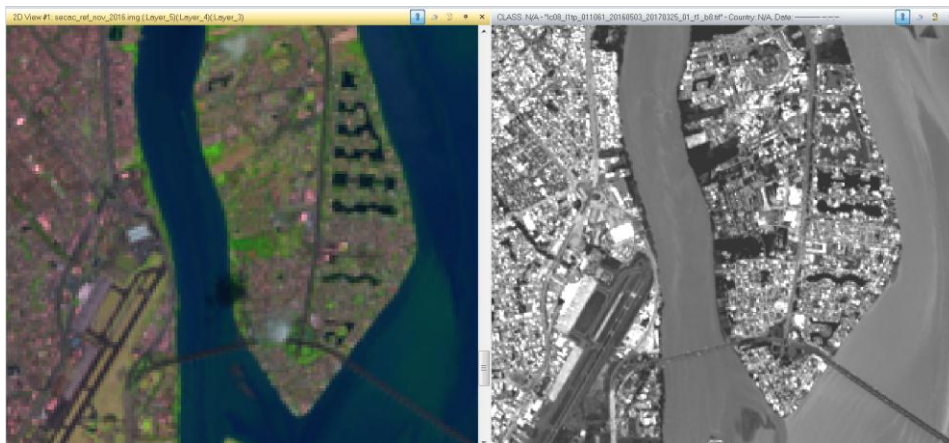


Imagen 44: Composición a color RGB (SWIR1,NIR,R) y banda Pancromática

Con este producto y las cartas topográficas a escala 1:50000 del IGM (ver imagen 45), se asignaron los puntos de control en puntos homologos.

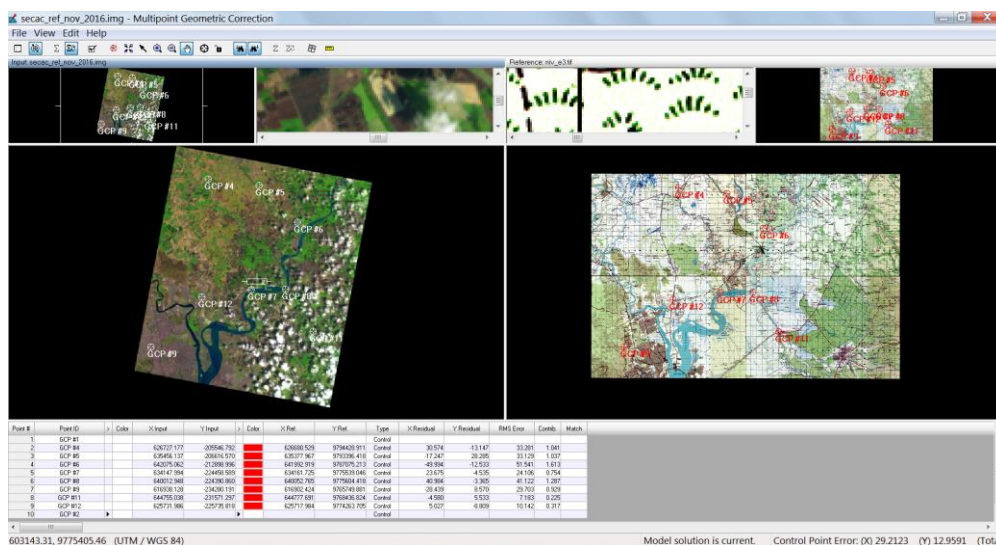


Imagen 45: Georreferenciación de las imágenes LANDSAT
Realizado por Salomé Verduga

El error medio cuadrático resultante es de 12.95 metros, que es menor a un pixel (30m), es decir que cumple con el error permisible.

Paso 2: Cálculo de las funciones de transformación

Una vez ingresados 9 puntos de control en la imagen de forma homogénea, se procedió a escoger la función de transformación de primer orden, de acuerdo al tipo de relieve que en su mayoría es plano.

El proceso de georreferenciación, consiste en dar a cada pixel su localización en un sistema de coordenadas estándar (UTM), para poder combinar de este modo, la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG. Tras la georreferenciación, se obtiene una nueva imagen, en la que cada columna corresponde con un valor de X-UTM y cada fila con un valor Y-UTM (Chuvienco, 2010).

Las correcciones necesarias para transformar en cada punto de la imagen sus coordenadas arbitrarias (fila-columna) en coordenadas reales (X e Y UTM), se explicitan mediante un par de ecuaciones que hacen corresponder a cada pixel par (fila, columna) un par (X, Y).

$X = f_1(f; c)$ X es una función de fila y columna

$Y = f_2(f; c)$ Y es una función de fila y columna

La transformación afín es de la siguiente forma:

$$X = Ac + Bf + C$$

$$Y = Dc + Ef + F$$

Ecuación 2: Ecuación para cálculo de transformación

(Chuvieco, 2010)

A, B, C, D, E, y F, son los coeficientes que se calculan con mínimos cuadrados, cuando existen más ecuaciones que incógnitas (se recomienda que para la transformación lineal sean 6 puntos de control, 12 en la cuadrática y 24 en la cúbica), c, f son las columnas, filas de la imagen, siendo X, Y las nuevas coordenadas en el nuevo sistema.

Se obtiene además una estimación del error cuadrático medio (ECM) que resulta muy útil para determinar si es necesario ampliar el número de puntos de control. La ecuación es:

$$ECM = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X' - X)^2 + (Y' - Y)^2 / n}$$

Ecuación 3: Ecuación para cálculo de transformación 2

(Chuvieco, 2010)

Donde X' e Y' son las coordenadas estimadas por la transformación para cada punto de control y X e Y las coordenadas reales. Como norma general el ECM debería ser inferior al tamaño del pixel (Chuvieco, 2010).

Paso 3: Transferencia de los niveles digitales originales a la nueva posición

Es necesario aplicar un procedimiento, para transferir la información de los pixeles originales a los pixeles resultantes del proceso de transformación, ya que con estas funciones de transformación va a crearse una nueva matriz correctamente posicionada, pero vacía. El llenado de esta matriz, es precisamente, el objetivo de la última fase de la transformación de coordenadas.

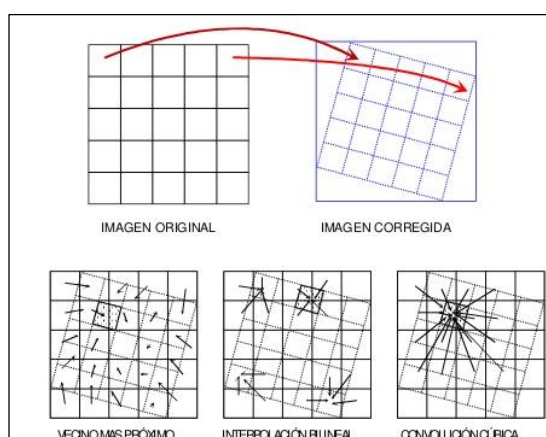
Cada pixel de la capa transformada, debería corresponder a un solo pixel en la original. Lo normal, es que el pixel de la nueva imagen, se sitúe entre varios de la original (rotación), incluso puede variar el tamaño de los pixeles.

El trasvase de valores de la capa original a la transformada, puede abordarse por tres métodos dependiendo de la complejidad de la transformación realizada y del tipo de datos (Chuvieco, 2010).

Método del vecino más próximo (ver imagen 46). Sitúa en cada pixel de la imagen corregida, el valor del pixel más cercano en la imagen original. Esta es la solución más rápida y la que supone menor transformación de los valores originales. Su principal inconveniente, radica en la distorsión que introduce en rasgos lineales de la imagen. Es la más adecuada en caso de variables cualitativas, pero evidentemente, no en teledetección (Chuvieco, 2010).

Interpolación bilineal (ver imagen 46), supone promediar los valores de los cuatro píxeles más cercanos en la capa original. Este promedio se pondera según la distancia del pixel original al corregido, de este modo tienen una mayor influencia aquellos píxeles más cercanos en la capa inicial. Reduce el efecto de distorsión en rasgos lineales pero difumina los contrastes espaciales (Chuvieco, 2010).

En la Convolución cúbica (ver imagen 46), se considera los valores de los 16 píxeles más próximos. El efecto visual se acerca a lo correcto en caso de que se trabaje con imágenes de satélite o fotografías digitalizadas, sin embargo supone un volumen de cálculo mucho mayor (Chuvieco, 2010).



**Imagen 46: Métodos de Remuestreo
(Chuvieco, 2010)**

- **Ajuste Geométrico de las imágenes de RADAR (Sentinel 1)**

Se comparó las imágenes de RADAR, con la cartografía básica del Instituto Geográfico Militar - IGM, (Red de drenaje, Red Vial) y se pudo observar que estas coincidían en su totalidad, como se muestra en la imagen 48, por lo que se decidió no realizar el ajuste geométrico,

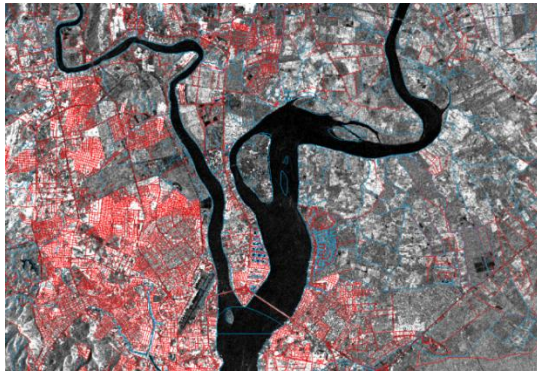


Imagen 47: Imagen con cartografía digital-IGM

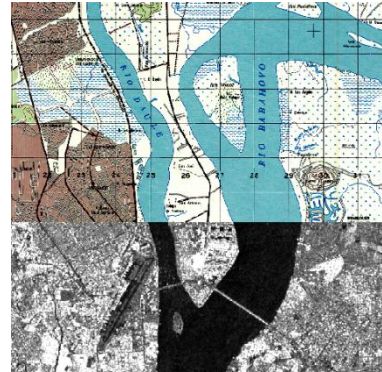


Imagen 48: Imagen con

3.4. INTERPRETACIÓN VISUAL DE LAS ZONAS INUNDADAS

- **Interpretación visual de las zonas inundadas en imágenes ópticas (LANDSAT 8)**

Se realizó la interpretación de las zonas inundadas (Mapa de zonas inundadas por interpretación visual de la imagen de época lluviosa (LANDSAT) – Anexo 23) en la imagen de época lluviosa (03/Mayo/2016), la que se tomó como referencia para la comparación en el análisis de resultados, con los productos obtenidos de las técnicas de detección de cambios, los resultados se muestran en la imagen 49.

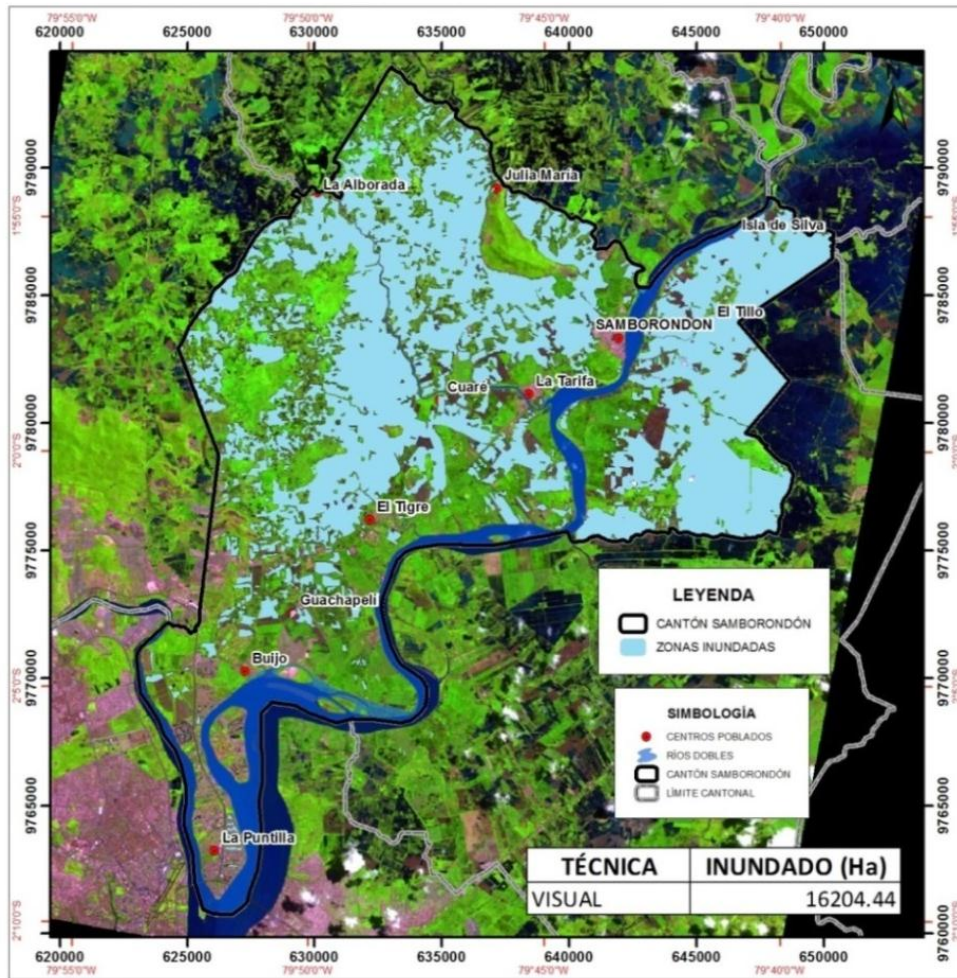


Imagen 49: Interpretación Visual de zonas inundadas

Fuente: Imagen LANDSAT -03/Mayo/2016

Realizado por Salomé Verduga

La conclusión de esta interpretación muestra, que el 53% de la zona de estudio se encuentra inundada, 40% no inundado y el 8% corresponde a ríos.

- **Interpretación visual de las zonas inundadas en imágenes RADAR (Sentinel_1).**

Una de las ventajas de las imágenes de RADAR, es la gran longitud de onda con la que trabajan, atravesando todo tipo de obstáculo atmosféricos como nubes, brumas, lluvia, entre otros, además de trabajar indistintamente del día o de la noche, hacen de este sistema uno de los más baratos en teledetección, por lo que es aconsejado para trabajar en época lluviosa en donde hay gran presencia de nubes. Las imágenes de RADAR

brindan una alternativa, para una interpretación de rápida respuesta, a pesar de tener solo una banda, a diferencia de las imágenes LANDSAT que son multispectrales.

Se interpretó visualmente con el programa ArcGis, con el módulo editor y también se calcularon las áreas inundadas, con su respectivo porcentaje en relación al área del cantón, (ver imagen 50).

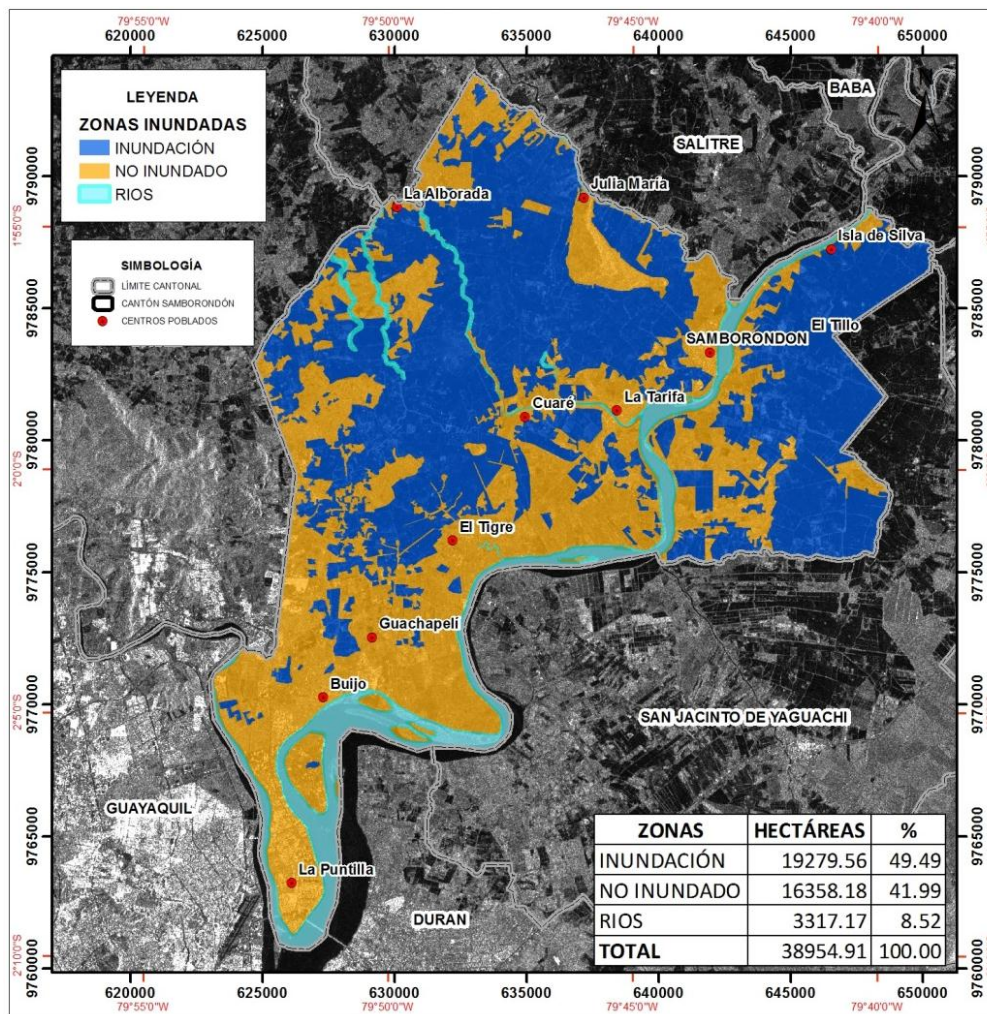


Imagen 50: Interpretación Visual de zonas inundadas

Fuente: Imagen RADAR-Sentinel1 (20/Marzo/2017)

Realizado por Salomé Verduga

3.5. TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS

En las técnicas de detección de cambios se obtuvo un nuevo producto satelital, en donde se muestra la dinámica hídrica de la crecida, para este caso de estudio, son las zonas inundadas, en donde se separaron los cuerpos de agua permanentes (ríos, lagunas, arrozceras, entre otros) de las áreas inundadas, obteniéndose un producto donde se señalan los incrementos (cambios positivos), decrementos (cambios negativos) y sin cambios con respecto a los valores de los niveles digitales de los píxeles.

3.5.1. Técnicas de detección de cambios con imágenes ópticas (LANDSAT 8)

- **Composiciones de color multitemporal**

De las imágenes LANDSAT de época seca (27/Noviembre/2016) y época lluviosa (03/Mayo/2016) se tomó la banda 7 de la imagen de época con ausencia pluviométrica, la banda 7 y 2 de época lluviosa, asignando el canal rojo, verde y azul respectivamente, los objetos que estaban presentes en la situación inicial o época seca, ya no están presentes en la situación final o época lluviosa debido a la inundación, esto se visualiza en tonalidades de rojo, contrastante con el resto de las coberturas, tal como se presenta en imagen 51.

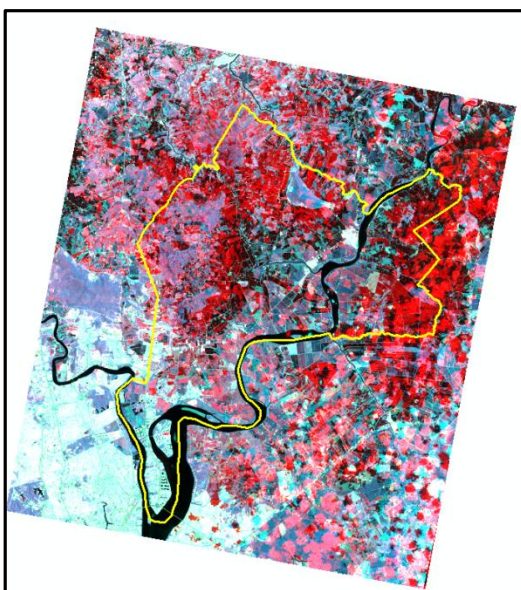


Imagen 51: Composición a color (7 época seca, 7 y 2 época lluviosa – RGB)

Realizado por Salomé Verduga

En la imagen 52, se observan las firmas espectrales de la composición a color de la imagen 51, en donde se puede apreciar con línea roja, el cambio de una respuesta espectral alta (época seca) a una respuesta espectral baja (época lluviosa) de una zona que fue inundada.

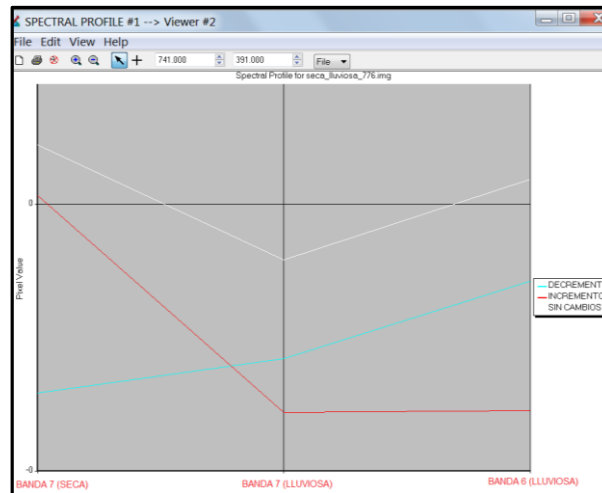


Imagen 52: Firmas espectrales de la composición a color de la imagen 55
Realizado por Salomé Verduga

- **Diferencias entre Imágenes**

Se realizó una diferencia de imágenes de época seca con la de época lluviosa, en las bandas que son más influyentes, es decir las bandas infrarrojas. Tal como se muestra en la imagen 53.

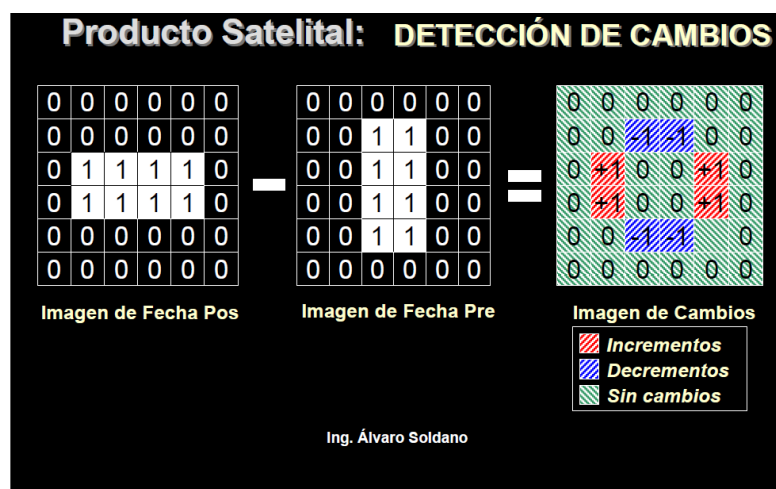
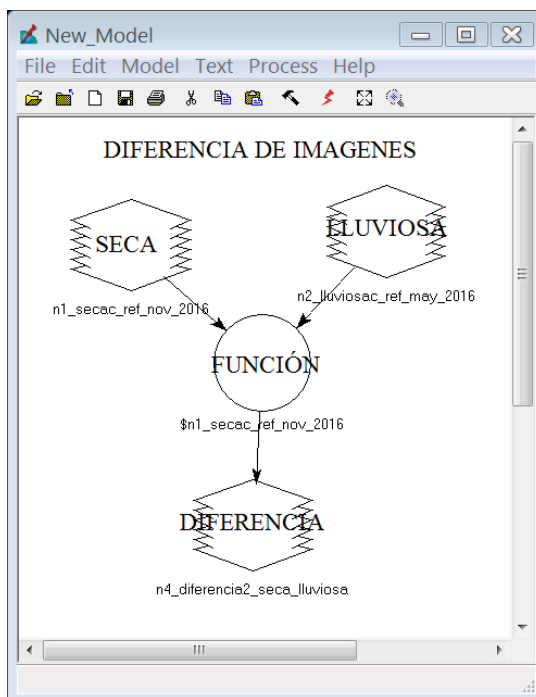


Imagen 53: Ejemplo de diferencia entre imágenes
(Soldano Á. , 2009)

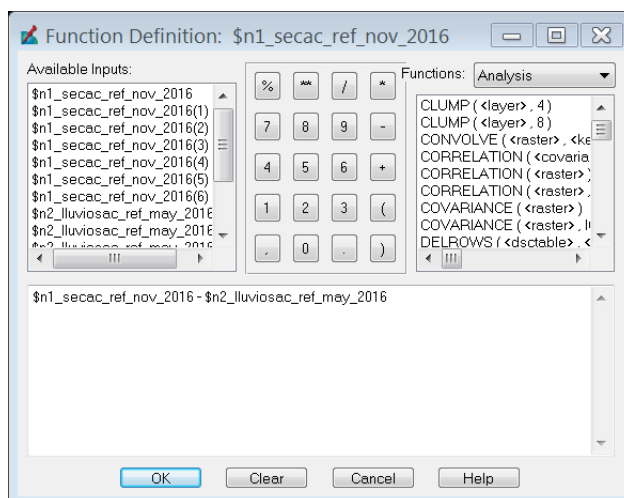
En el esquema (ver imagen 54), se muestra el proceso de diferencia de imágenes de época seca con la época lluviosa, el cual fue realizado en el software ERDAS IMAGINE, con la herramienta Model Marker.



**Imagen 54: Modelo para Diferencia de Imágenes (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE)
Realizado por Salomé Verduga**

En la imagen 55, se presenta la función que se utilizó con el software ERDAS IMAGINE.

Función:



**Imagen 55: Fórmula para diferencia entre imágenes
Realizado por Salomé Verduga**

El proceso de diferencia entre imágenes se realizó con las bandas NIR (5), SWIR1 (6), SWIR 2 (7), los resultados se muestran en las imágenes 56, 57 y 58.

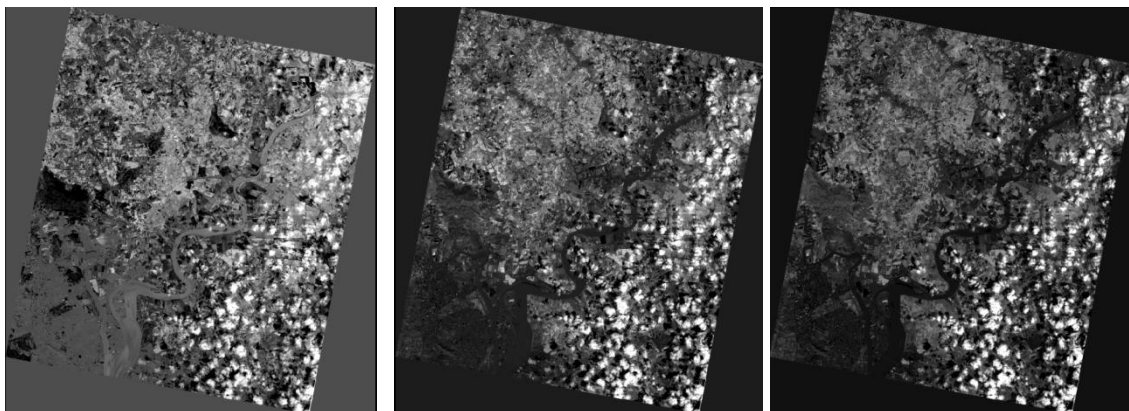


Imagen 56: NIR (5)

Imagen 57:SWIR1 (6)

Imagen 58: SWIR 2 (7).

Realizado por Salomé Verduga

En los resultados anteriores se observa en tonos de grises claros las inundaciones, sin tomar en cuenta a las nubes. Se realizó una composición a color RGB de los resultados tomando la banda NIR (5) de la imagen de época seca con las bandas NIR (5) y la Roja (4) de la imagen de época lluviosa, obteniendo la imagen 59.

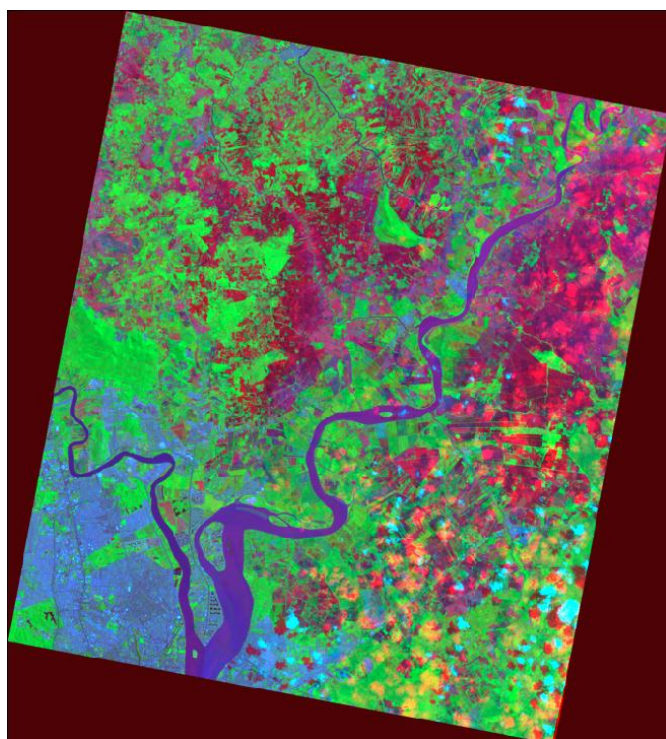
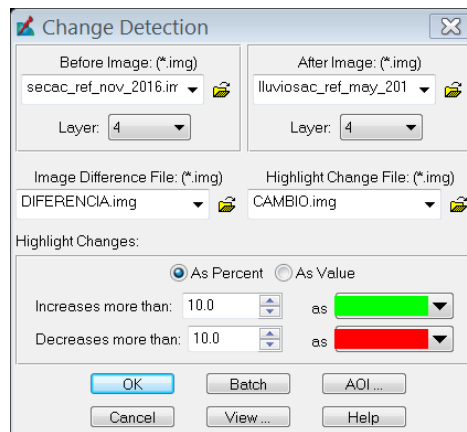


Imagen 59: Composición a color RGB - NIR (5) seca, NIR (5) lluviosa, Roja (4) lluviosa

Realizado por Salomé Verduga

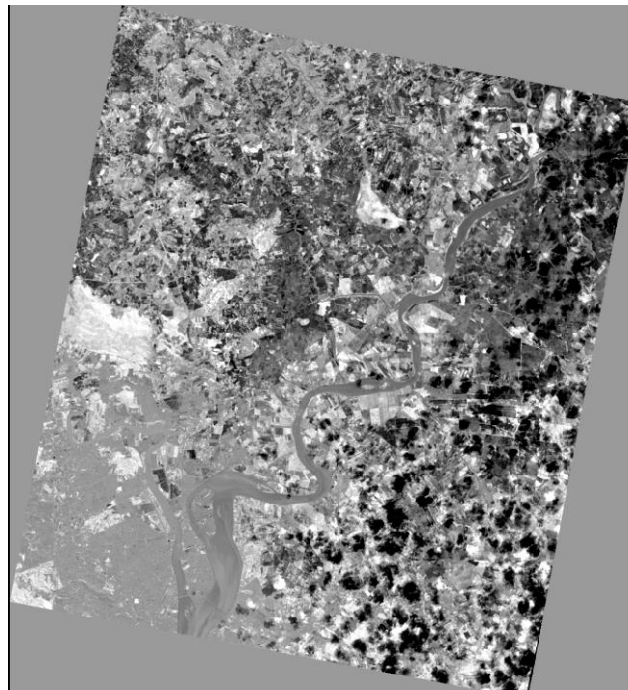
Las zonas inundadas se observan en tonalidades de rojo, están separadas de los cuerpos de agua permanentes que se encuentran en tonalidades de azul.

Otro método que se puede utilizar en ERDAS IMAGINE, es el módulo de Image Difference, en donde además de la diferencia de bandas, se puede obtener los incrementos y decrementos (Change Detection) de acuerdo a una estimación de porcentaje (10%) tal como se describe en la imagen 60.



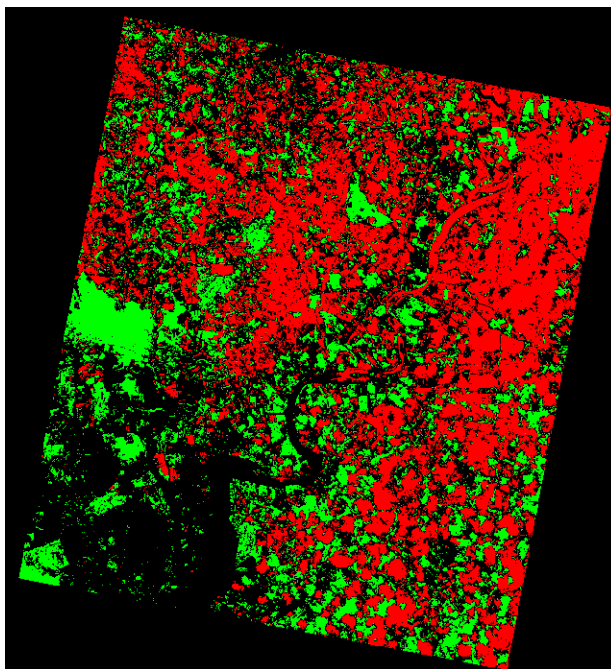
**Imagen 60: Diferencia de imágenes con un porcentaje de 10%
Realizado por Salomé Verduga**

En la imagen 61, se muestra el resultado de la diferencia de imágenes en donde las tonalidades oscuras representan las zonas inundadas, sin tomar en cuenta las nubes.



**Imagen 61: Imagen diferencia
Realizado por Salomé Verduga**

En la imagen 62, se muestra el resultado de cambios en donde el color rojo representa las zonas inundadas, sin tomar en cuenta las nubes.

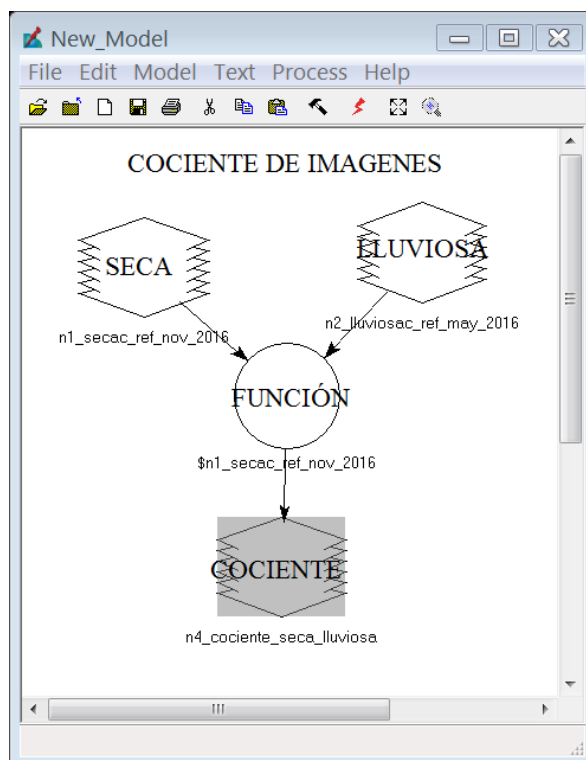


**Imagen 62: Resultado de diferencia de imágenes con un porcentaje de 10%
Realizado por Salomé Verduga**

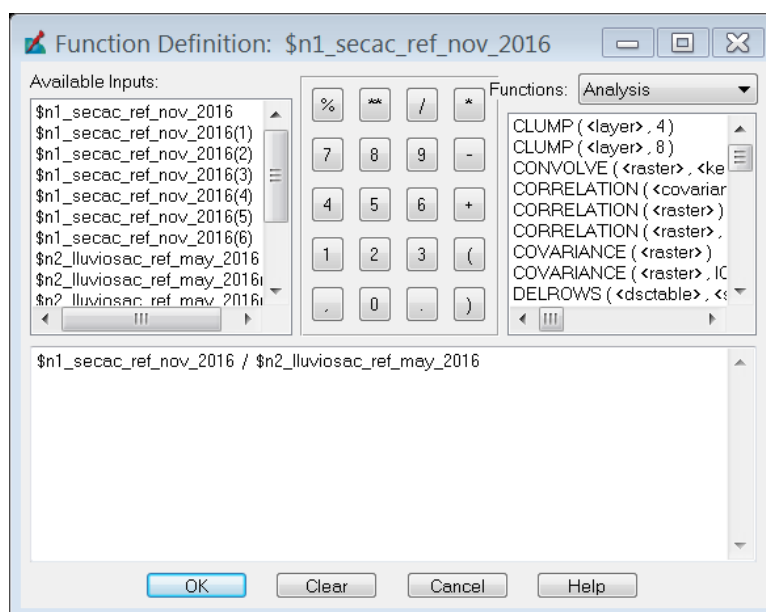
En este segundo método de diferencia entre imágenes (ver imagen 62), se aplicó un 10% de incremento, en la que se representó en color verde los incrementos, con color rojo los decrementos y en negro los no cambios.

- **Cocientes multitemporales**

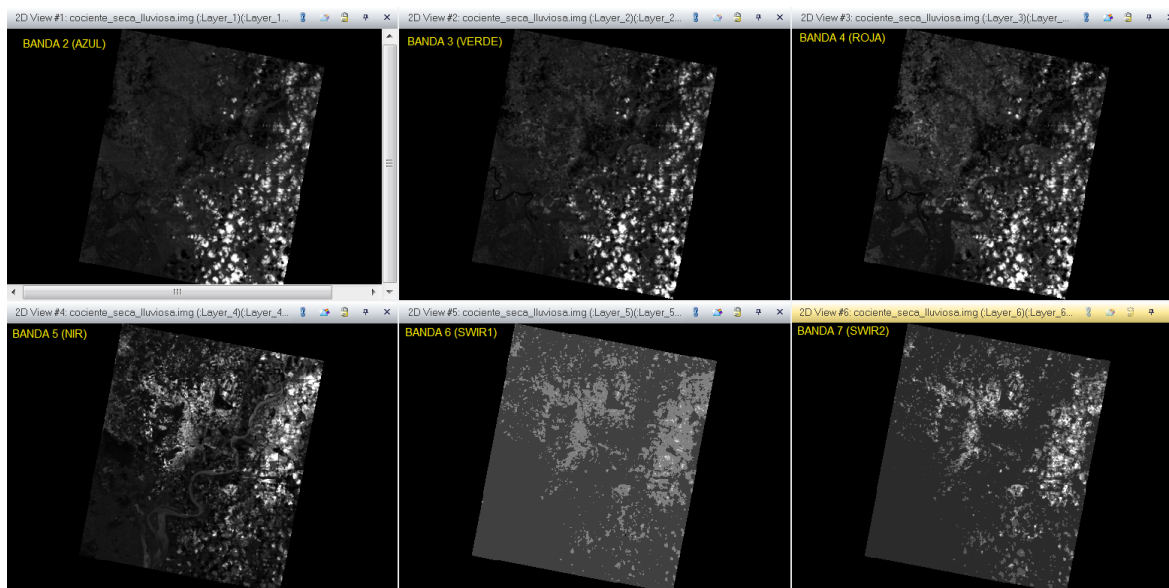
El resultado de este producto (imagen 65) resaltó las zonas con cambios, ya que al hacer el cociente, las zonas sin cambios, dan como resultados la unidad, mientras que las zonas con cambios en donde se divide el nivel digital de la época seca (valores altos) dividido para el nivel digital de la época lluviosa (valores bajos), resultó con un nivel digital alto. El modelo y el proceso se muestran en la imagen 63 y 64.



**Imagen 63: Modelo para cociente de imágenes
Realizado por Salomé Verduga**

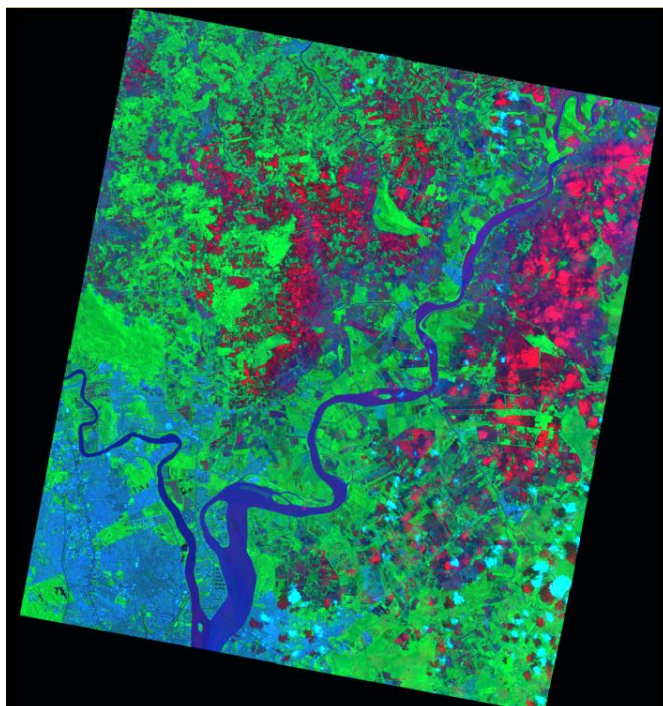


**Imagen 64: Formula de cociente de imágenes
Realizado por Salomé Verduga**



**Imagen 65: Bandas resultado de cociente multitemporales 2, 3, 4, 5, 6,7
Realizado por Salomé Verduga**

En las bandas visibles (rojo, verde y azul) no se resaltan las zonas inundadas, a diferencia de las bandas infrarrojas, en donde se ven en tonos de grises claros las inundaciones, (no tomar en cuenta las nubes), por lo que se realizó una composición a color escogiendo entre los cocientes (ver imagen 65) la banda NIR (5), y de la época lluviosa las bandas NIR (5) y Roja (4), obteniendo la imagen 66.



**Imagen 66: Composición a color SWIR (6), NIR (5) y Roja (4) - RGB
Realizado por Salomé Verduga**

En donde las zonas inundadas se observan en tonalidades de rojo, separadas de los cuerpos de agua permanentes, que se encuentran en tonalidades de azul.

- **Componentes Principales**

El producto resultante, generará cambios desde la aplicación de la técnica de componentes principales, a partir de la rotación y traslación de los pixeles de todas las bandas entre sí, se tomaron de dos en dos, sintetizando la información y reduciendo la dispersión de los datos, logrando así una independencia de los datos de una componente respecto de la otra, tal como se muestra en la imagen 67.

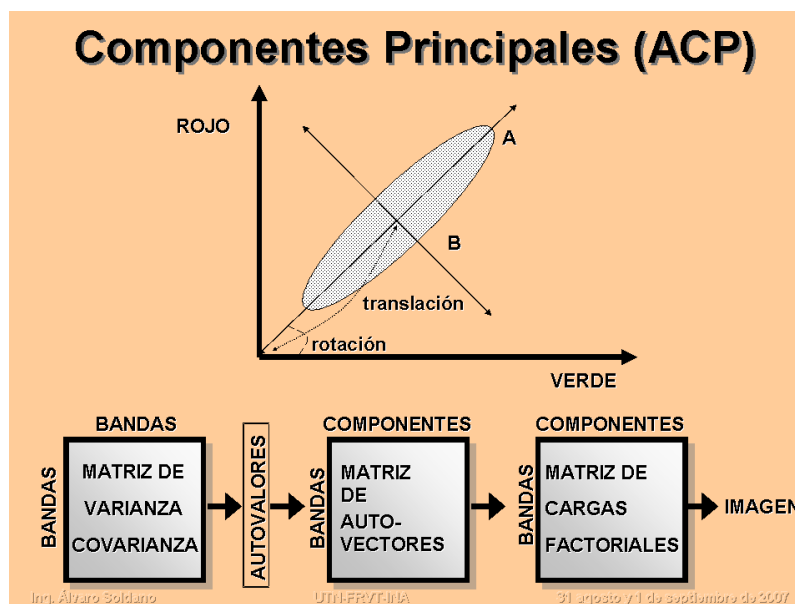


Imagen 67: Ejemplo de Componentes Principales
(Soldano Á. , 2009)

El análisis de los componentes principales, es altamente usado en aplicaciones con base en el estudio de la diferencia de datos a partir de datos originales. Se estudian las relaciones comunes, con el fin de extraer datos que no presenten redundancia y que a la vez muestren diferencias, una vez analizadas todas las variables en conjunto.

Se realizó el análisis de los componentes principales en cada una de las imágenes (lluviosa y seca), utilizando el software ERDAS IMAGINE, como se muestra en la imagen 68 llegando a conseguir los resultados que se muestran en la imagen 69 y 70.

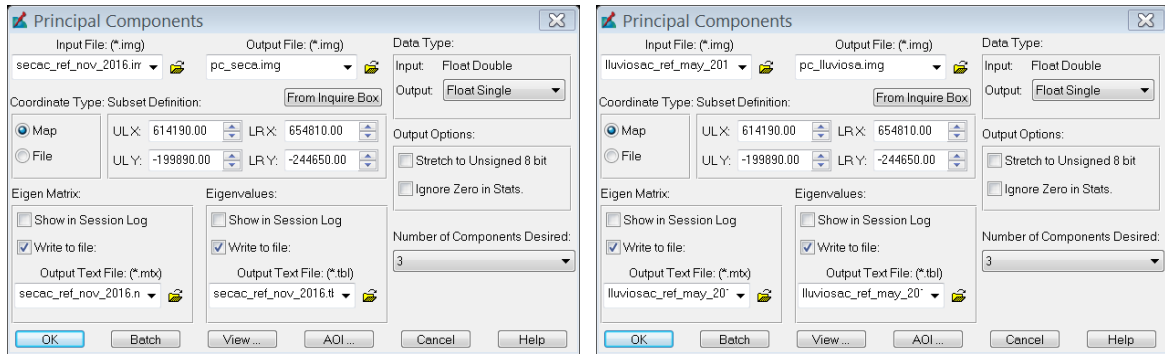


Imagen 68: Función Componentes Principales ERDAS IMAGINE para imagen de época seca y lluviosa

Realizado por Salomé Verduga

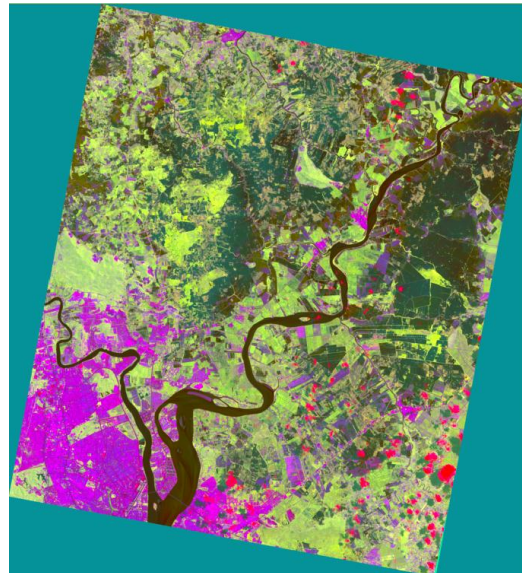
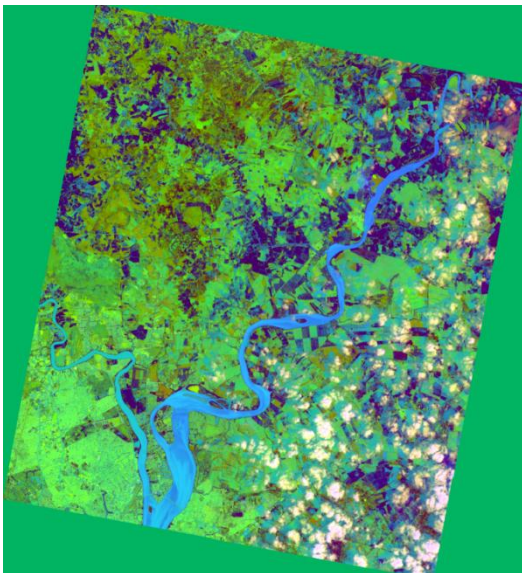


Imagen 69:(Imagen de época seca – PC1, PC2, PC3)

Imagen 70:(Imagen de época lluviosa – PC1, PC2, PC3)

Realizado por Salomé Verduga

A continuación se muestra las matrices de eigenvalores, las cuales representan el porcentaje de información que tiene cada componente.

COMPONENTE	VALOR	%
PC1	0.056622683	92.12107672
PC2	0.002367405	3.851599254
PC3	0.002304561	3.749356195
PC4	9.12E-05	0.148395252
PC5	7.42E-05	0.120668608
PC6	5.47E-06	0.008903973
TOTAL	0.061465503	100

COMPONENTE	VALOR	%
PC1	0.023027515	81.792442
PC2	0.003585567	12.7357348
PC3	0.001427824	5.07155014
PC4	6.64E-05	0.2357364
PC5	3.72E-05	0.13222621
PC6	9.10E-06	0.03231045
TOTAL	0.028153597	100

Tabla 6: Matriz de eigenvalores imagen seca

Tabla 7: Matriz de eigenvalores

imagen lluviosa

Realizado por Salomé Verduga

En la matriz de eigenvalores de la imagen de la época seca, se observa que en las tres primeras componentes se tiene el 99.72% de la información, mientras que la imagen de época lluviosa muestra que en las tres primeras componentes se tiene el 99.60% de la información, lo que demuestra que las 6 bandas se han condensado en un número menor de variables.

A continuación se exponen las matrices de cargas factoriales, en las dos época, las cuales presentan la intervención de cada una de las bandas en cada componente.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
BANDA 2	0.33574499	0.09464019	0.47140445	0.65533313	-0.30001237	0.36963151
BANDA 3	0.33239613	0.15248016	0.42762493	-0.02039211	0.029926	-0.82588627
BANDA 4	0.3528894	0.31958976	0.3536651	-0.69702803	0.02448191	0.40224994
BANDA 5	0.51733642	-0.81896058	-0.0071915	-0.07262473	0.22874604	0.06337017
BANDA 6	0.50359958	0.15700722	-0.6036751	-0.05806232	-0.58634374	-0.10070925
BANDA 7	0.36194981	0.41268357	-0.32459269	0.27500725	0.71580299	0.07294707

Tabla 8: Matriz de cargas factoriales imagen seca

Realizado por Salomé Verduga

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
BANDA 2	0.25866044	-0.38809408	-0.40589844	0.64630619	-0.23124852	-0.38280106
BANDA 3	0.25230641	-0.37261271	-0.33399571	-0.00137142	0.13817529	0.81661118
BANDA 4	0.21054104	-0.48272925	-0.21881774	-0.6817302	0.20382009	-0.41044494
BANDA 5	0.73994989	0.59887111	-0.2306474	-0.14606357	-0.13627958	-0.02688207
BANDA 6	0.45795334	-0.14267931	0.58590367	0.27097274	0.59059139	-0.06643663
BANDA 7	0.26050266	-0.31386499	0.52851753	-0.15089592	-0.72008247	0.11405266

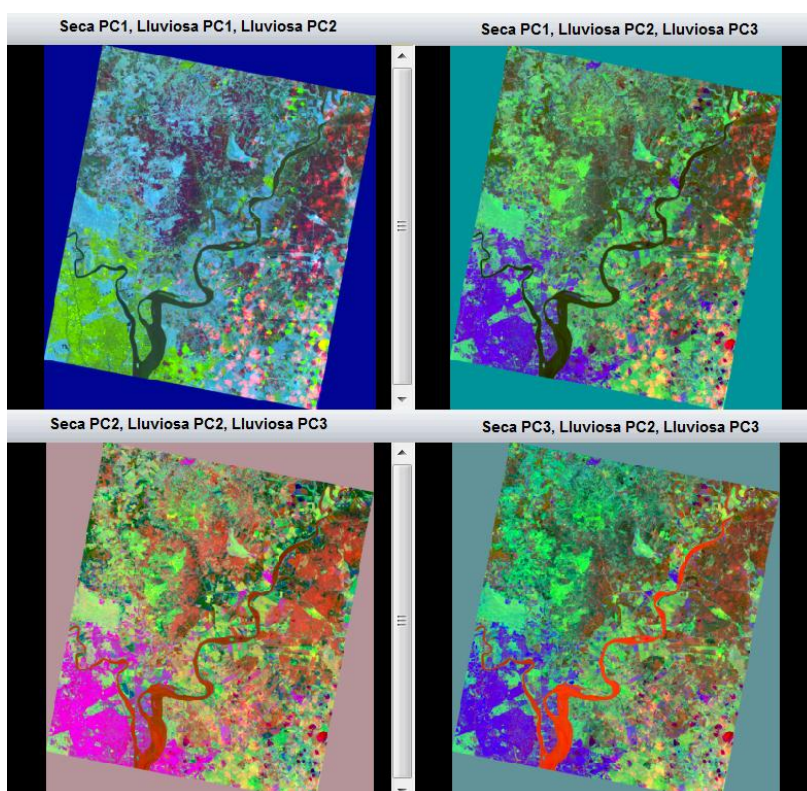
Tabla 9: Matriz de cargas factoriales imagen lluviosa

Realizado por Salomé Verduga

En ambas matrices se manifiesta la asociación entre cada componente y las bandas originales, el primer componente ofrece un promedio ponderado entre todas las bandas. Recoge, en consecuencia, una valoración de las características espectrales comunes a todas ellas, lo que se asimila con el brillo general de la imagen, el segundo componente muestra una importante asociación negativa con la banda 5 en la imagen de época seca y una asociación positiva en la banda 5 en la imagen de época lluviosa, el tercer

componente parece indicar una valoración del contenido de agua, por lo que se puede denominar como componente de humedad.

Posteriormente se realizó una composición a color entre las dos imágenes, de los principales componentes (imagen de época seca y lluviosa). En las que se ejecutaron varias combinaciones a color, como se muestra en la imagen 71.



**Imagen 71: Composiciones a color con los componentes principales de ambas épocas
Realizado por Salomé Verduga**

La composición a color que más resalta la inundación, es la combinación Seca PC1, Lluviosa PC1, Lluviosa PC2 (RGB) es la que se escogerá para el análisis en este estudio.

- **Regresión**

En la imagen de cambios, partiendo de la correlación que existe entre bandas iguales de la época seca y época lluviosa. Desde la correlación lineal, se obtendrá una banda estimada para la fecha final (ecuación 4). La diferencia entre los valores de la banda de la

fecha final y la banda estimada, nos dará los cambios entre los valores reales y los estimados a través de la correlación, obteniendo valores altos en aquellos pixeles que denotan cambios y bajos en el resto (ecuación 4).

Regresión Lineal:

1º paso:) $Nd_{ESTIMADA} = a + b * ND_{INICIAL}$

2º paso:) $Nd_{RESIDUAL} = Nd_{ESTIMADA} - ND_{FINAL}$

Ecuación 4: Formulas para la realización de regresión lineal
(Soldano Á. , 2009)

En las imágenes de reflectancia, se trabajó con las bandas infrarrojas cercana de cada época, buscando los valores de los pixeles de zonas inundadas y su correspondiente en la imagen de época seca, obteniéndose la tabla 10, para luego encontrar la ecuación de la banda estimada que se puede observar en el gráfico 1.

PUNTO	IMAGEN SECA	IMAGEN LLUVIOSA
1	0.202	0.004
2	0.168	0.012
3	0.239	0.004
4	0.184	0.004
5	0.23	0.013
6	0.19	0.004
7	0.157	0.003
8	0.143	0.006
9	0.167	0.011

Tabla 10: Valores de Niveles Digitales de Imagen seca vs lluviosa
Realizado por Salomé Verduga

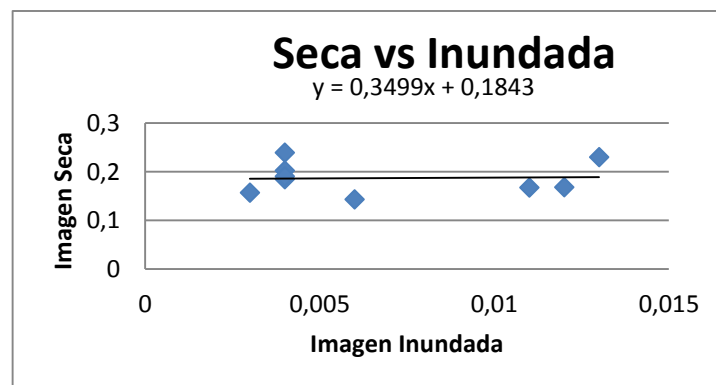


Gráfico 1: Regresión Lineal de la imagen seca vs inundada
 Realizado por Salomé Verduga

La ecuación 4, se procesó con el software ERDAS IMAGINE, como se muestra en el modelo de la imagen 72 y su proceso en la imagen 73.

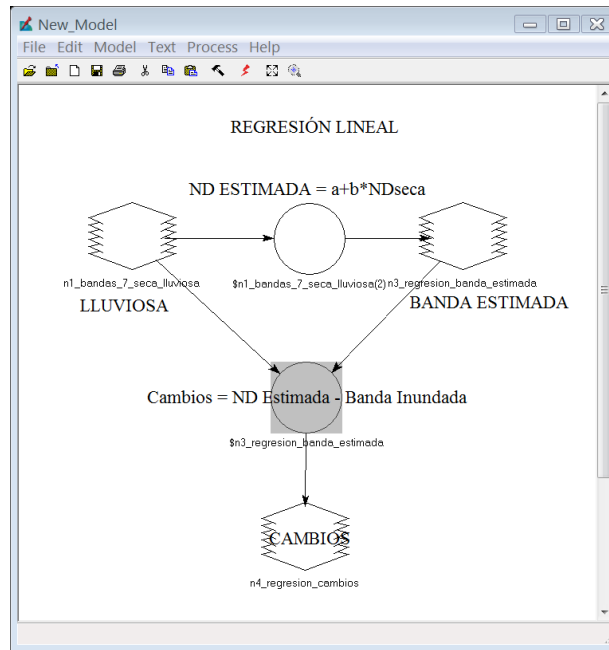


Imagen 72: Modelo de regresión lineal (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE)

Realizado por Salomé Verduga

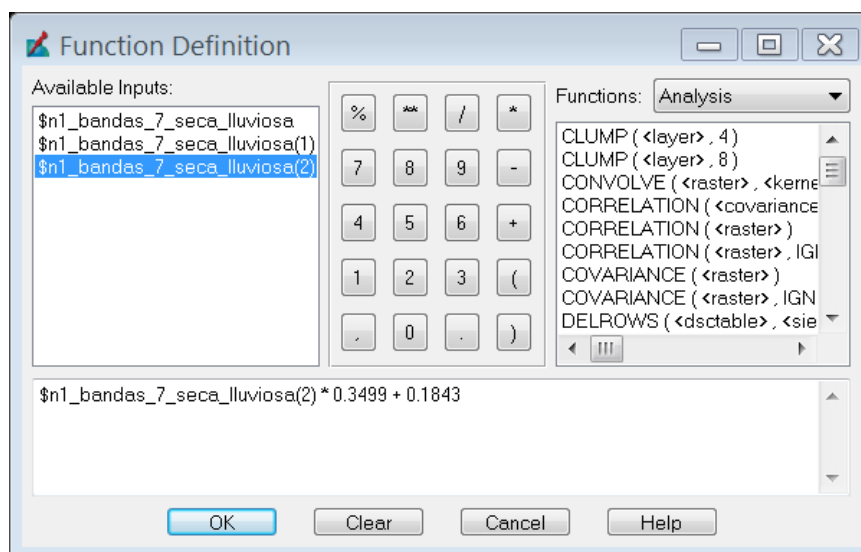
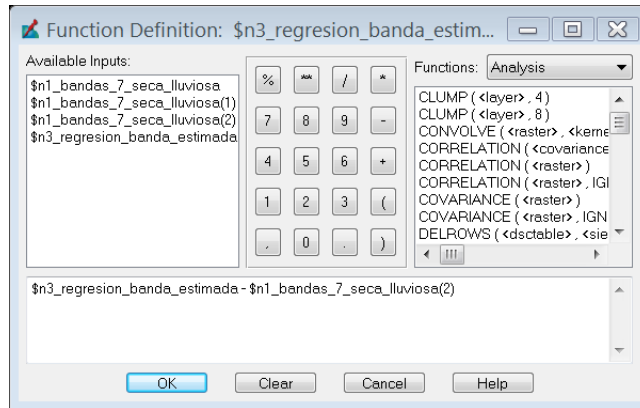


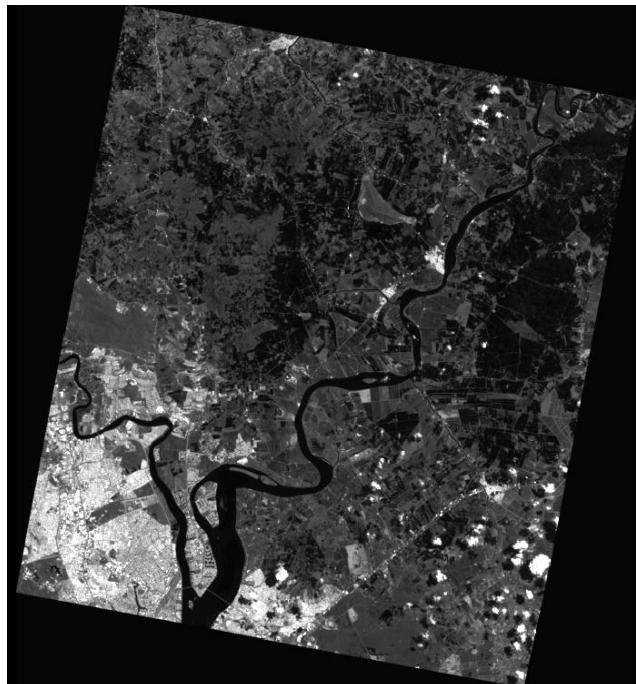
Imagen 73: Función ND ESTIMADA
 Realizado por Salomé Verduga



**Imagen 74: Función Cambios
Realizado por Salomé Verduga**

A continuación se muestra la banda estimada en la imagen 75, y la imagen de cambios en la imagen 76, donde se realiza las zonas inundadas que se presentan en tonalidades grises oscuras en la banda estimada y grises claros en la imagen de cambios.

- Banda Estimada:



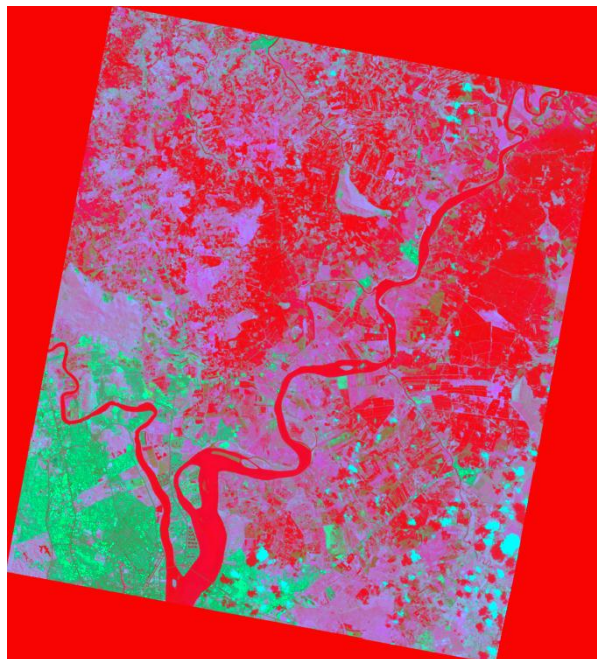
**Imagen 75: Resultado de Banda Estimada
Realizado por Salomé Verduga**

- Imagen de Cambios:



**Imagen 76: Imagen de Cambios
Realizado por Salomé Verduga**

Se realizó una composición a color con el resultado de la regresión, y las bandas infrarrojas de la imagen de época lluviosa (SWIR1) y (NIR), (ver imagen 77) en donde se presenta en rojo las zonas que tienen agua.



**Imagen 77: Composición a color Regresión, Lluviosa (SWIR1), Lluviosa (NIR) – RGB
Realizado por Salomé Verduga**

En el resultado de esta composición, se puede observar que no están separadas las zonas inundadas de los cuerpos de agua permanentes, que es a lo que se quiere llegar con las técnicas de detección de cambios.

- **Vectores multitemporales**

El producto de vectores multitemporales, incorpora la dirección del cambio entre imágenes; se representara en un eje bi-variado dos bandas, la infrarroja media (SWIR1) y la banda Verde de la época seca y la época inundada, lo que se muestra en la imagen 78.

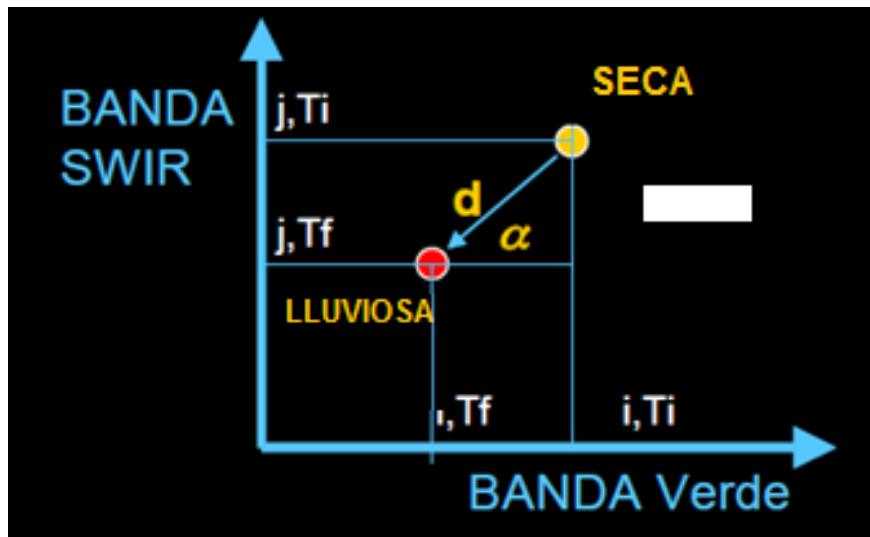


Imagen 78: Ejemplo de Vectores Multitemporales

(Soldano Á. , 2009)

La magnitud del cambio, vendrá dado por la longitud del vector que separa ambos puntos. Por su parte el sentido del cambio, se define por el ángulo de este vector respecto del eje de referencia. Siendo la longitud del vector la siguiente ecuación:

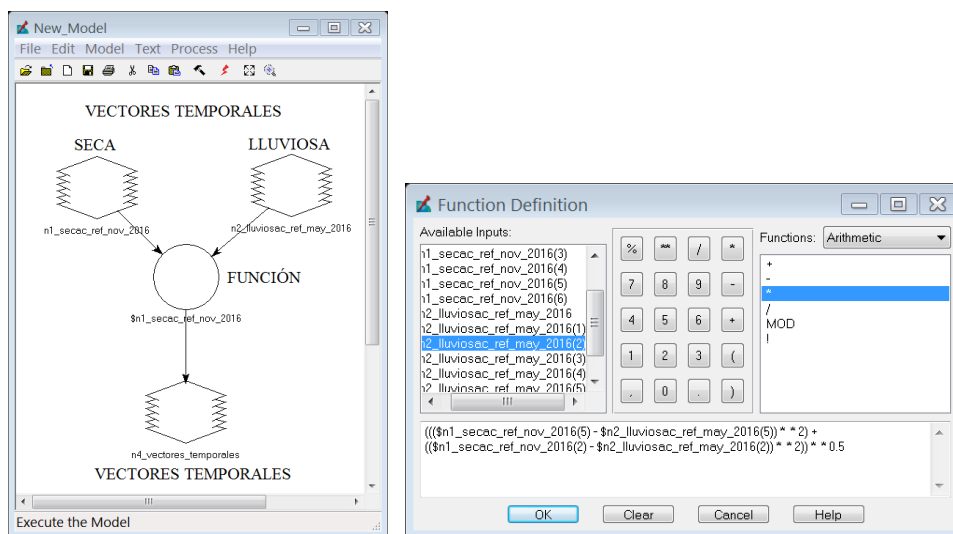
D

$$= \sqrt{[ND (SWIR1 seca) - ND(SWIR1 lluviosa)]^2 + [ND (Verde seca) - ND(Verde lluviosa)]^2}$$

Ecuación 5: Ecuación de longitud del vector

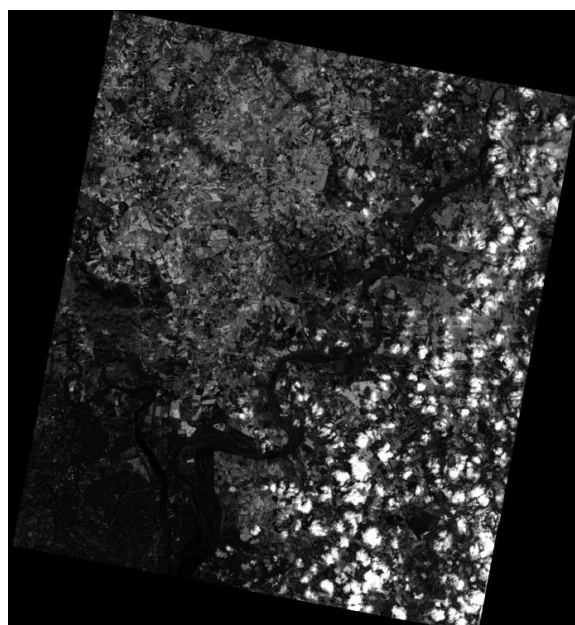
(Soldano Á. , 2009)

Para aplicar la fórmula se utilizó la herramienta Model Marker en el software ERDAS IMAGINE, el modelo y su función se presenta en la imagen 79.



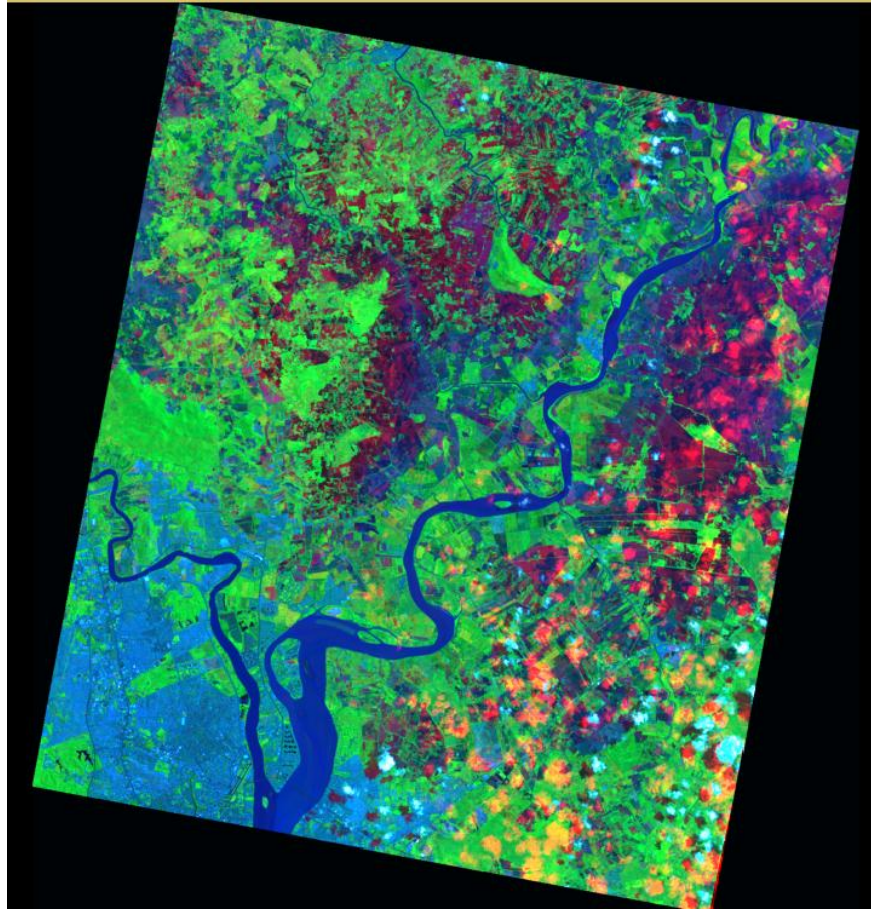
**Imagen 79: Modelo de Vectores Multitemporales y su función (Herramienta Model Marker – ERDAS IMAGINE)
Realizado por Salomé Verduga**

El resultado de la técnica multitemporal se muestra en la imagen 80.



**Imagen 80: Resultado de Vectores Temporales
Realizado por Salomé Verduga**

Para una mejor interpretación visual, se realizó una composición a color del resultado (Vectores Temporales) con la imagen de época lluviosa, con las bandas Infrarroja Cercana (NIR) y la banda Roja – RGB, que se observa en la imagen 81.

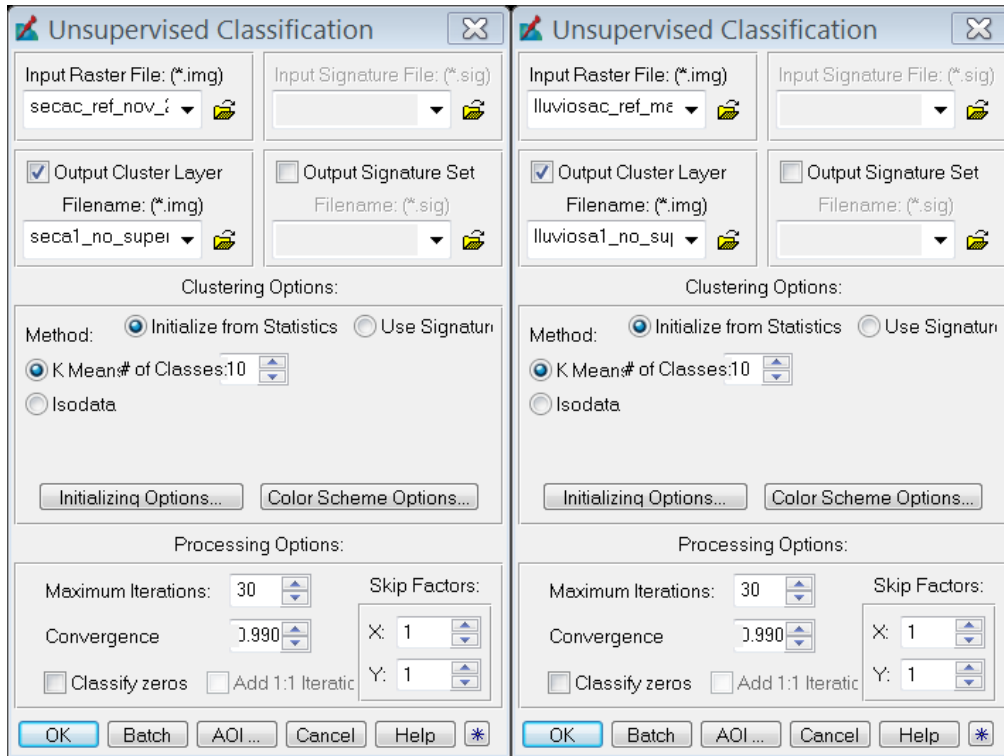


**Imagen 81: Vectores Temporales, NIR, Roja – RGB
Realizado por Salomé Verduga**

En esta combinación, se puede apreciar claramente, las zonas inundadas en tonalidades de rojo, separadas de los cuerpos de agua permanentes que se encuentran en tonalidades de azul.

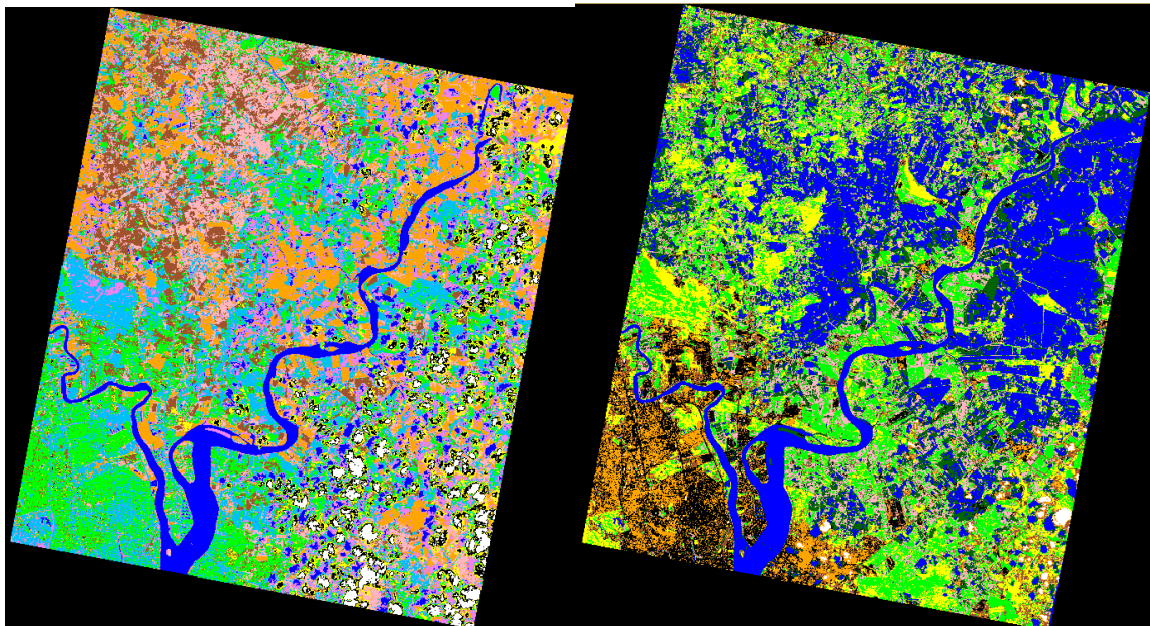
- **Análisis multitemporal de Imágenes Clasificadas**

En esta técnica se realizó dos clasificaciones no supervisadas, una de época seca y otra de época lluviosa; con estos dos productos se realizó una comparación, para separar las zonas inundadas de los cuerpos de agua permanentes. En esta clasificación no supervisada, se escogieron 10 clases por el método de K-means (distancias euclidianas mínimas para la asignación de un pixel a una clase) con 30 iteraciones y una convergencia de 0.99, como se muestra su proceso en la imagen 82.



**Imagen 82: Funciones de Clasificación No Supervisada para época seca y lluviosa –ERDAS IMAGINE
Realizado por Salomé Verduga**

El resultado de las clasificaciones no supervisada de las dos épocas se muestran en la imagen 83 y 84.



**Imagen 83: Clasificación no supervisada época seca Imagen 84: Clasificación no supervisada época lluviosa
Realizado por Salomé Verduga**

Una vez obtenidas las dos imágenes clasificadas, se procedió a reclasificar en agua y no agua a ambos productos, logrando el resultado que se muestra en la imagen 85 y 86, con las que se realizó una composición a color de los dos productos en RGB (agua imagen seca, agua imagen lluviosa, agua imagen lluviosa) y se obtuvo el resultado que se muestra en la imagen 87, donde el rojo representa las zonas inundadas y el gris cuerpos de agua permanentes.

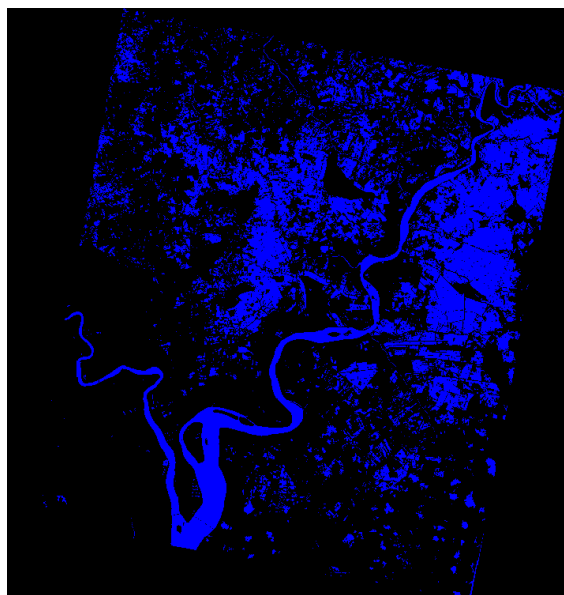
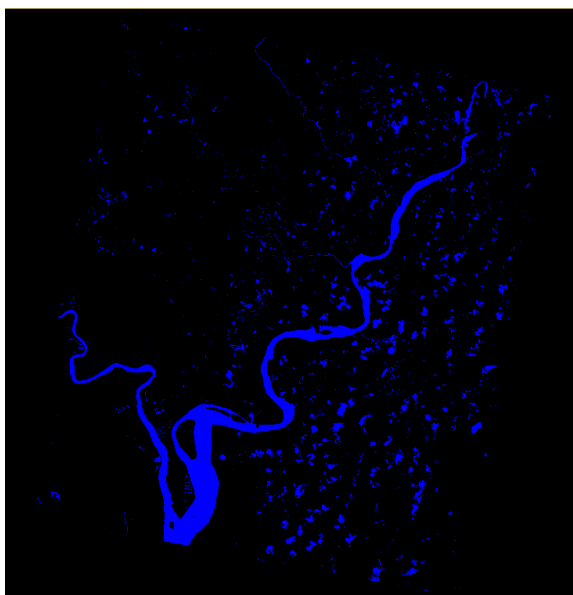


Imagen 85: Reclasificación Agua-No Agua SECA

Imagen 86: Reclasificación Agua-No Agua LLUVIOSA

Realizado por Salomé Verduga

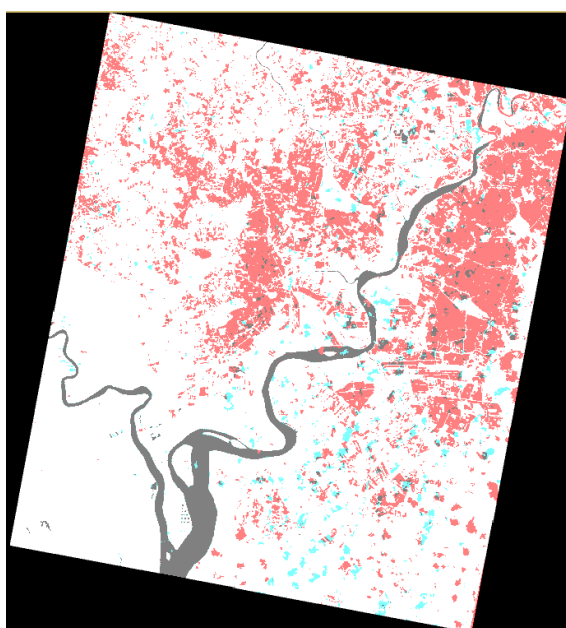


Imagen 87: Unión de las dos imágenes clasificadas

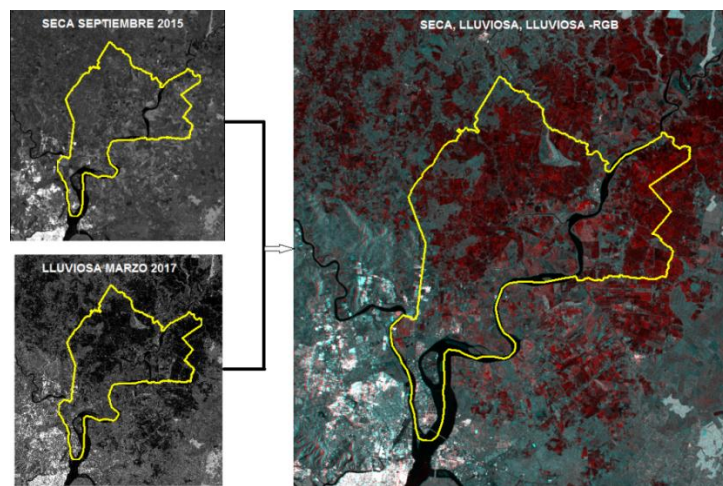
Realizado por Salomé Verduga

3.5.2. Técnicas de detección de cambios con imágenes RADAR (Sentinel 1)

Con las imágenes de radar se realizó tres técnicas de detección de cambios, debido a que se tiene una sola banda por época.

- **Composiciones de color multitemporal**

Se realizó una composición a color con la imagen de época seca (septiembre 2015) y época lluviosa (marzo 2017), en la que se asignó en los canales rojo, verde y azul las bandas de radar de época seca, época lluviosa, época lluviosa, obteniéndose el resultado que se muestra en la imagen 88.

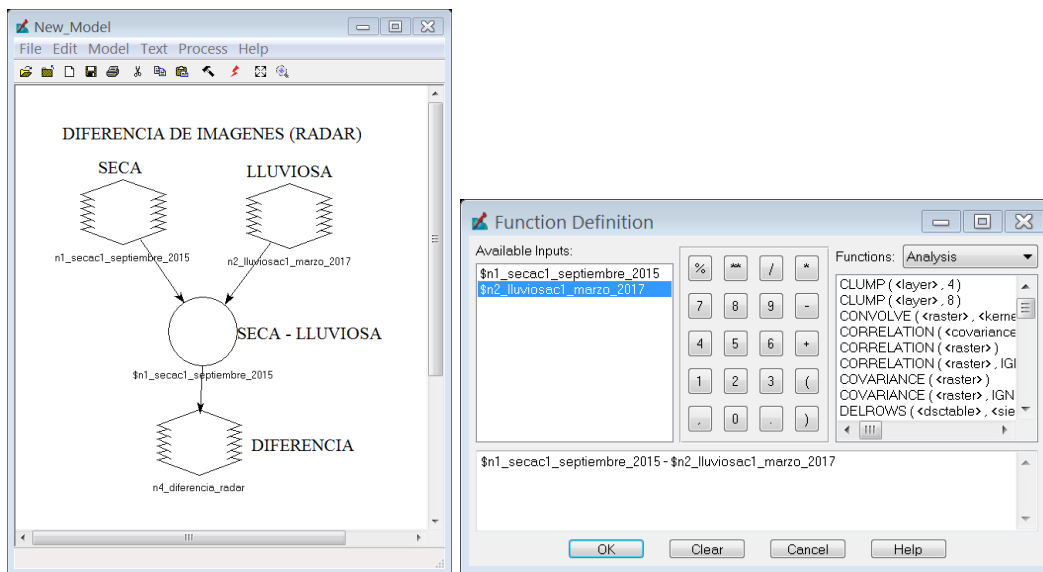


**Imagen 88: Composición a color RGB (seca, lluviosa, lluviosa)
Realizado por Salomé Verduga**

En el resultado se observa en tonalidades de rojo las zonas inundadas, debido a que en la imagen de época seca se asignó el canal rojo la cual tiene valores altos en sus pixeles, a diferencia de la de época lluviosa a la que se le coloco en el canal verde y en el canal azul.

- **Diferencias entre imágenes**

Se realizó la diferencia de imágenes de acuerdo al modelo y la función que se muestra en la imagen 89.



**Imagen 89: Modelo de diferencia de imágenes y su función (Herramienta Model Marker-ERDAS IMAGINE)
Realizado por Salomé Verduga**

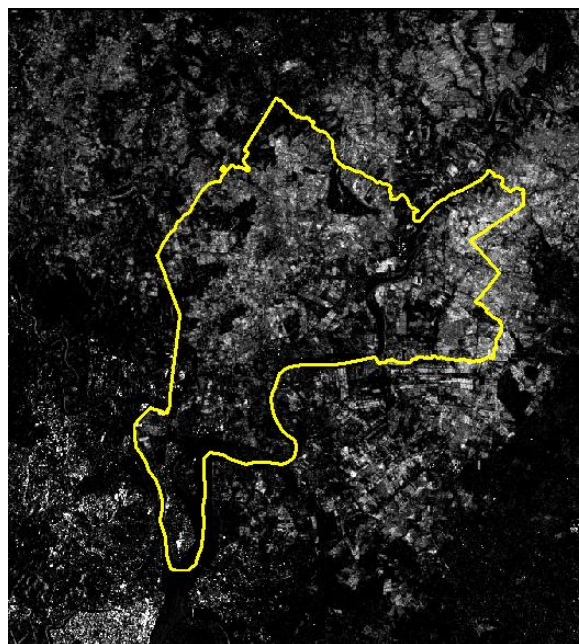


Imagen 90: Diferencia de imágenes – RADAR

Realizado por Salomé Verduga

En la imagen 90, se muestra en tonalidades de grises claros todas las zonas inundadas, para que este resultado sea resaltado se realizó una composición a color RGB (Diferencia, Lluviosa, Lluviosa), imagen 91, en la que se aprecia las zonas inundadas en tonalidades de rojo.

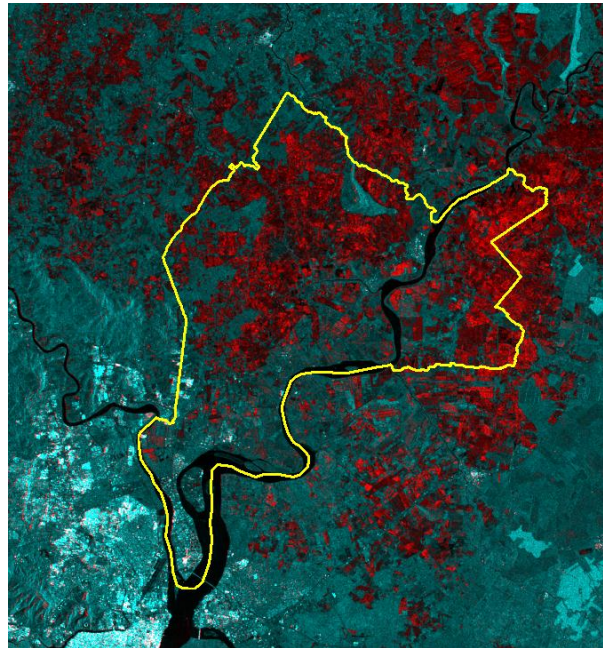
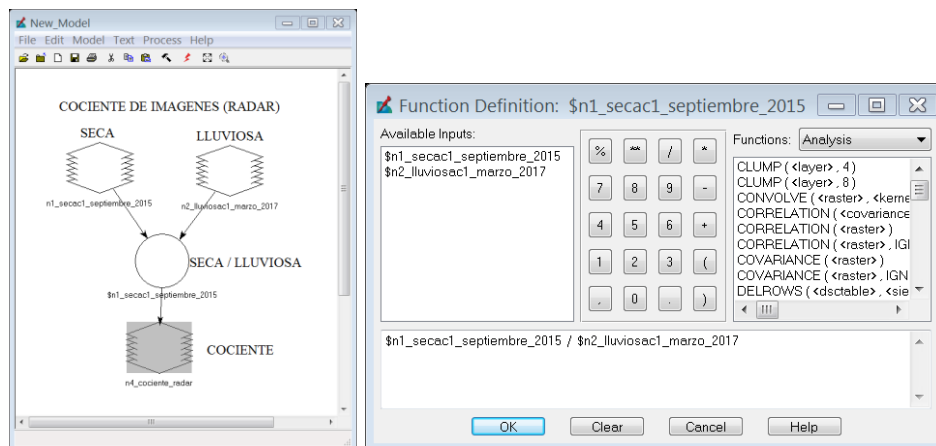


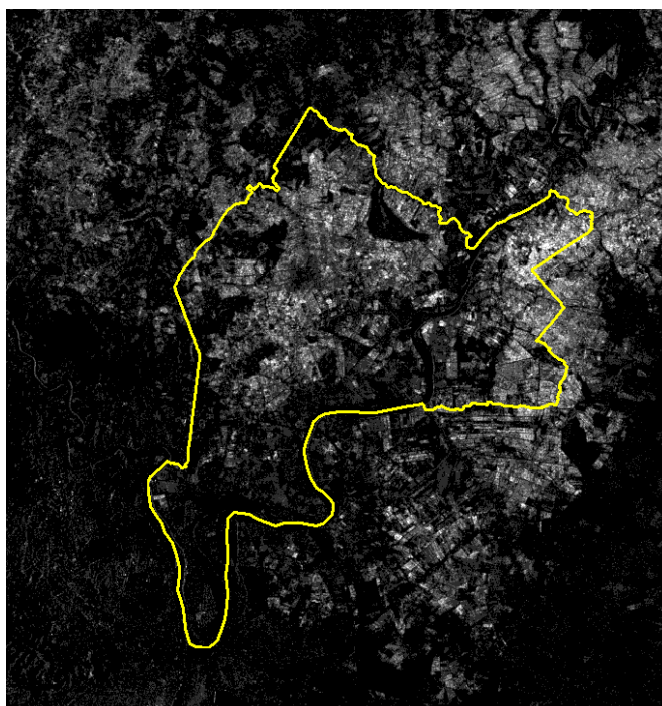
Imagen 91: Composición a color RGB (Diferencia, Lluviosa, Lluviosa)
Realizado por Salomé Verduga

- **Cocientes Multitemporales**

Se realizó un cociente entre la imagen de época seca con la imagen de época lluviosa, de acuerdo al modelo y la función que se muestra en la imagen 92.

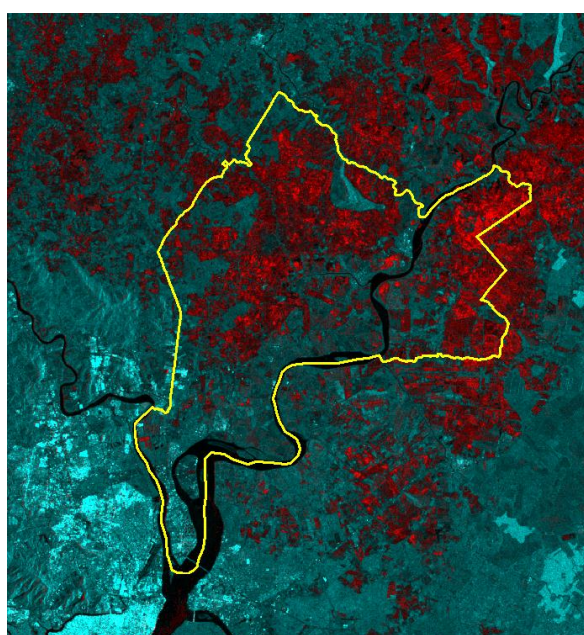


**Imagen 92: Modelo de cociente de imágenes y su función (Herramienta Model
Marker-ERDAS IMAGINE)
Realizado por Salomé Verduga**



**Imagen 93: Cociente de imágenes – RADAR
Realizado por Salomé Verduga**

En la imagen 93 se observa en tonalidades de grises claros todas las zonas inundadas, para dar un mayor realce al resultado se realizó una composición a color RGB (Cociente, Lluviosa, Lluviosa) en la que se presenta las zonas inundadas, imagen 94 en tonalidades de rojo, que se diferencian de las agua permanentes que están en tonalidades oscuras.



**Imagen 94: Composición a color RGB (Cociente, Lluviosa, Lluviosa)
Realizado por Salomé Verduga**

3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de resultados se compararan cada una de las técnicas, observando la rápida respuesta del procesamiento y exactitud de los resultados en función de la interpretación visual.

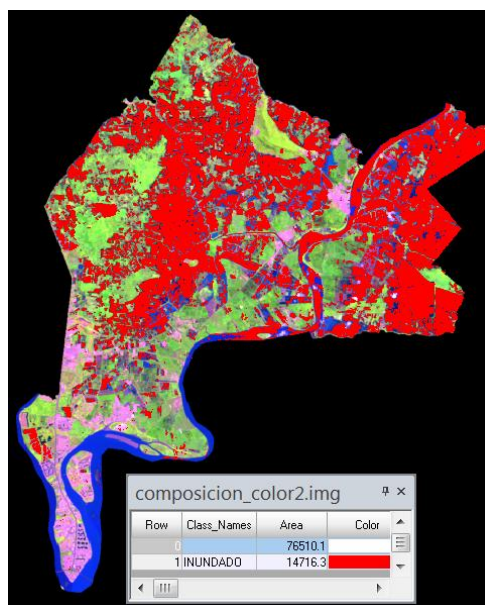
3.6.1. Análisis comparativo de cada una de las técnicas.

Todos los resultados a diferencia de la composición a color, que es una interpretación visual, se les realizó un corte con el límite del cantón Samborondón, en el que se reclasificaron los resultados en zonas inundadas y no inundadas y se calculó el área respectiva de cada una de estas, para comparar cada una de las técnicas entre sí.

- **Corte y reclasificación de cada una de las técnicas en las imágenes ópticas (LANDSAT_8)**

En las imágenes 95 a la 101, se presenta las imágenes cortadas con el límite del cantón Samborondón y su cálculo de las zonas inundadas según las diferentes técnicas aplicadas.

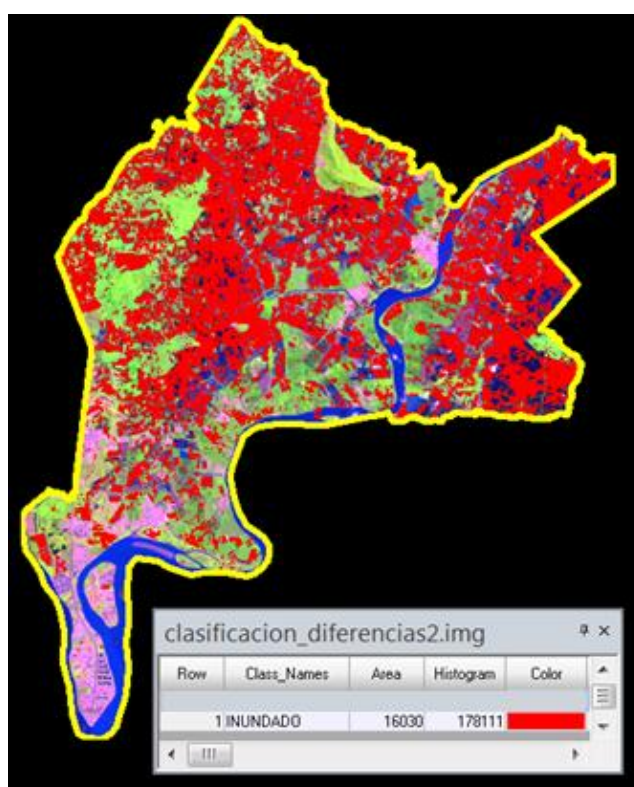
Composiciones de color multitemporal



**Imagen 95: Zonas inundadas con Composiciones de color Multitemporal
Realizado por Salomé Verduga**

Con el fin de evaluar la superficie de las áreas inundadas en la composición a color, se realizó una clasificación no supervisada, en la que se puede observar que parte del río (cuerpos de agua permanentes) se confunden con las zonas inundadas, debido a que el agua en ciertos lugares del río tienen más sedimentos que en otros, con lo que se puede afirmar que esta técnica solo serviría para una rápida interpretación.

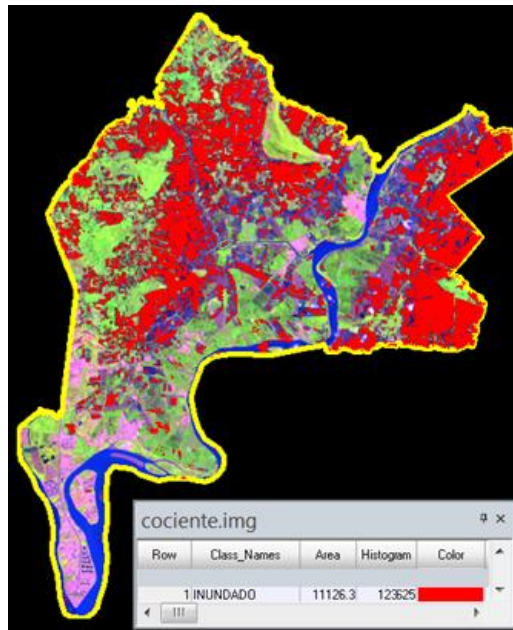
Diferencia entre imágenes:



**Imagen 96: Zonas inundadas con diferencia de imágenes
Realizado por Salomé Verduga**

En esta técnica, se reclasificaron los valores altos como zonas inundadas, asignándoles un valor de 1 con color rojo, se observa que en ciertas partes del río existen estos colores rojos, se debe a que el agua contenía sedimentos y daban un valor alto.

Cocientes multitemporales:



**Imagen 97: Zonas inundadas con cocientes multitemporales
Realizado por Salomé Verduga**

La diferencia entre imágenes da como resultado diferencias absolutas, a diferencia de los cocientes multitemporales, el cual da un cambio significativo frente a los valores originales. En el producto realizado, se reclasificaron los valores altos como zonas inundadas asignándoles un valor de 1 con color rojo, al contrario de la técnica anterior, esta separa mejor los cuerpos de agua permanentes, de las zonas inundadas.

Componentes principales:

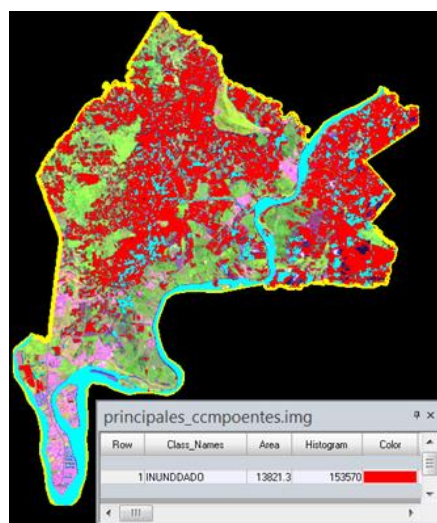


Imagen 98: Zonas inundadas con componentes principales
Realizado por Salomé Verduga

A la composición en RGB (Seca PC1, Lluviosa PC1, Lluviosa PC2), se realizó una clasificación no supervisada, con el fin de obtener valores reclasificados en zonas inundadas (valor 1), no inundadas (valor 0) y además calcular el área de cada una de estas, ver imagen 98.

Regresión:

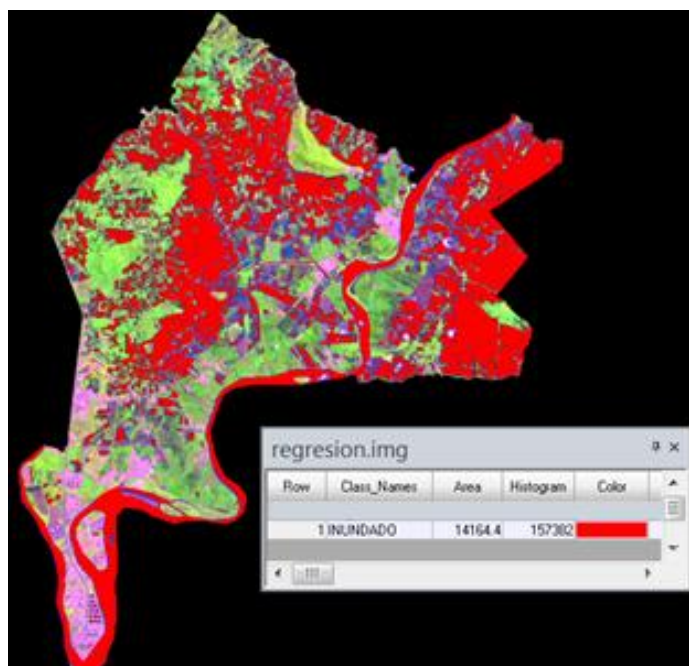
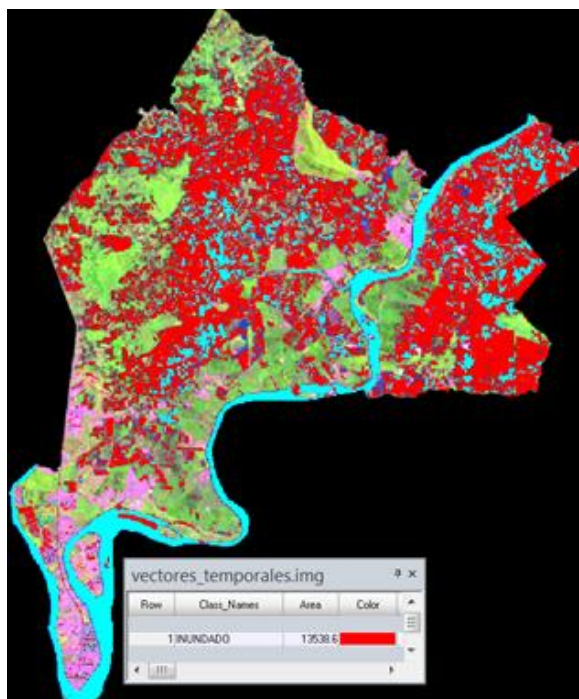


Imagen 99: Zonas inundadas con regresión
Realizado por Salomé Verduga

En la imagen 99, se confunde el agua permanente con las zonas inundadas, a este resultado se le realizó el cálculo del área de las zonas inundadas.

Vectores multitemporales:



**Imagen 100: Zonas inundadas con vectores multitemporales
Realizado por Salomé Verduga**

La magnitud del cambio, viene dado por la longitud del vector que separa los puntos, el resultado de esta imagen fue reclasificado en tres valores: 1 inundado, 2 cuerpos de agua permanentes y 0 no inundado, además se calculó el área correspondiente a las zonas inundadas.

Análisis multitemporal de imágenes clasificadas:

Este resultado es producto de la clasificación de las imágenes de época seca y época lluviosa, las mismas que se unieron para calcular el área de las zonas inundadas y los cuerpos de agua permanentes.

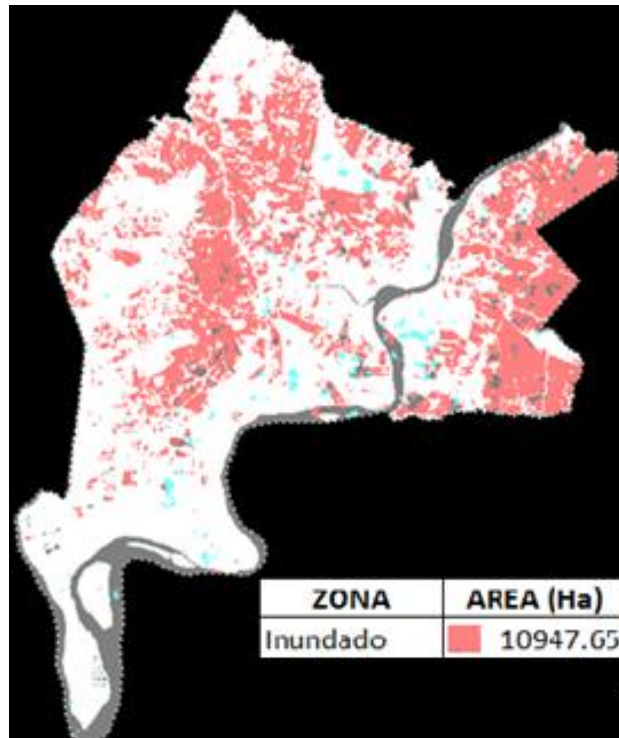
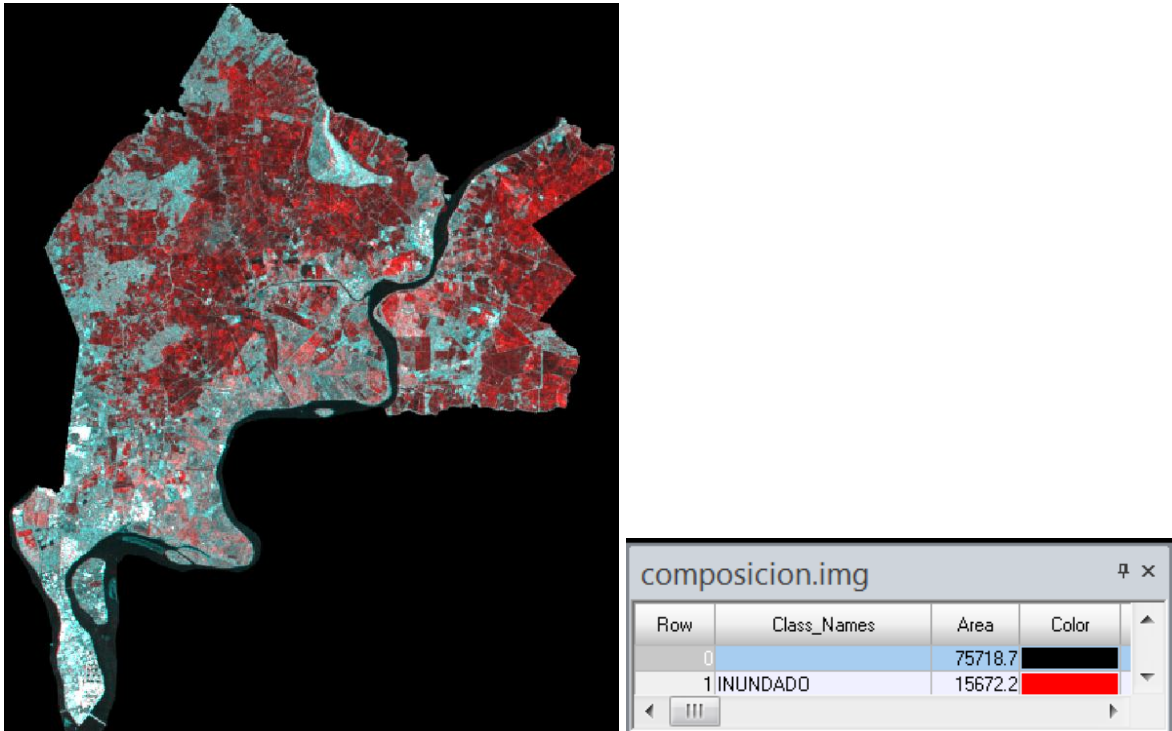


Imagen 101: Zonas inundadas con vectores multitemporales
Realizado por Salomé Verduga

- **Corte y reclasificación de cada una de las técnicas en las imágenes RADAR (Sentinel 1)**

En las imágenes 102 a la 106, se presenta las imágenes RADAR, cortadas con el límite del cantón Samborondón y su cálculo de las zonas inundadas.

Composiciones de color multitemporal



**Imagen 102: Zonas inundadas con Composiciones de color multitemporal
Realizado por Salomé Verduga**

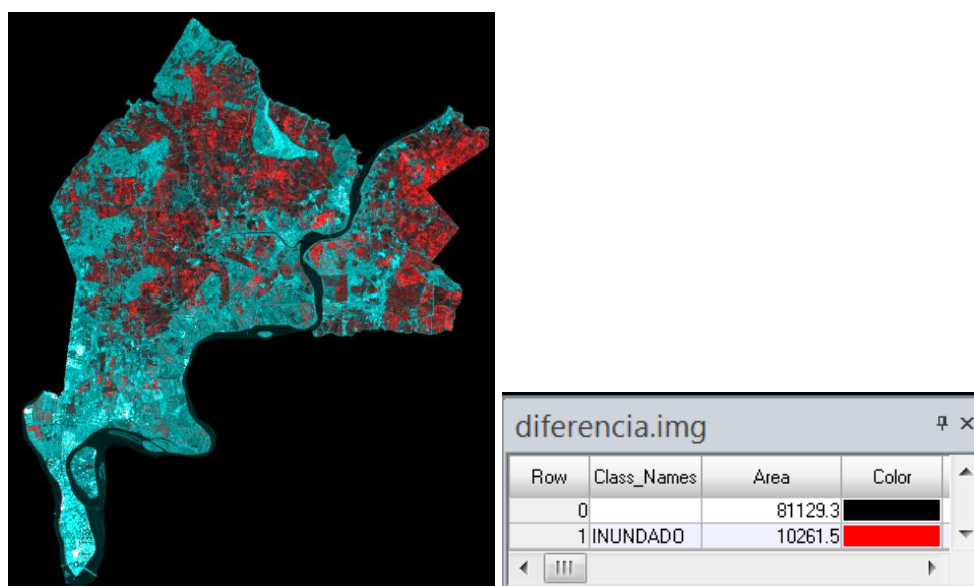
En esta técnica, se dificulta obtener la superficie en el procesamiento digital de imágenes, ya que no se puede realizar una clasificación, por ser una imagen compuesta por dos bandas, una seca y una inundada. Lo que se quiere resaltar con esta técnica es la observación visual, que separa adecuadamente los cuerpos de agua permanentes de las zonas inundadas. La composición a color de imágenes RADAR entre dos épocas, es un proceso rápido, de pronta respuesta que da una idea de donde están ubicadas las zonas inundadas, lo que facilita una interpretación visual, que permite calcular las áreas de dichas zonas.

Diferencia entre imágenes



**Imagen 103: Zonas inundadas con Diferencia entre Imágenes
Realizado por Salomé Verduga**

Para dar un mayor realce al resultado se realizó una composición a color RGB (Diferencia, Lluviosa, Lluviosa) en la que se presenta las zonas inundadas, en tonalidades de rojo, que se diferencian de las aguas permanentes que están en tonalidades oscuras, ver imagen 104.



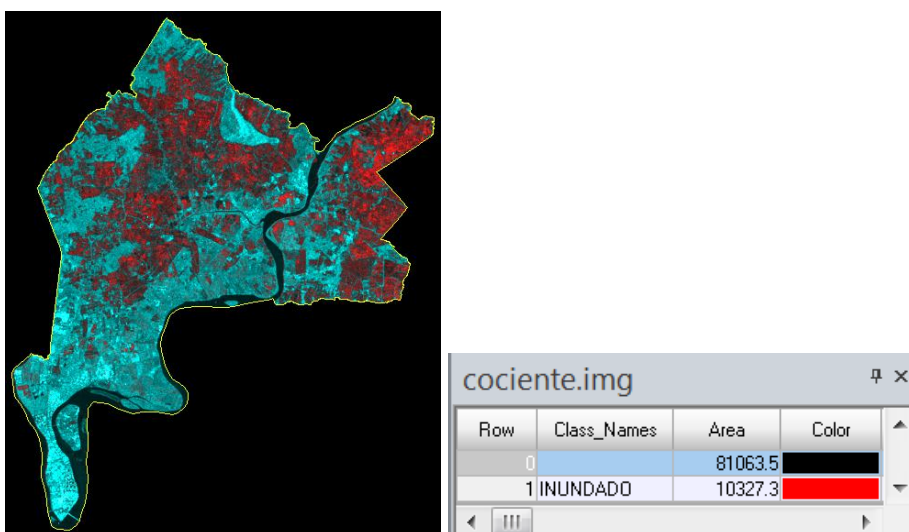
**Imagen 104: (Composición a color RGB (Diferencia, Lluviosa, Lluviosa)
Realizado por Salomé Verduga**

Cocientes Multitemporales



**Imagen 105: Zonas inundadas con Diferencia entre Imágenes
Realizado por Salomé Verduga**

Para dar un mayor realce al resultado, se realizó una composición a color RGB (Cociente, Lluviosa, Lluviosa) en la que se presenta las zonas inundadas en tonalidades de rojo, que se diferencian de las aguas permanentes que están en tonalidades oscuras, ver imagen 106.



**Imagen 106: Composición a color RGB (Cociente, Lluviosa, Lluviosa)
Realizado por Salomé Verduga**

3.7. MATRIZ DE ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LAS TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS DE IMÁGENES ÓPTICAS.

Con los resultados obtenidos en cada una de las técnicas de detección de cambios se procedió a realizar la matriz, ver tabla 11.

Técnicas de detección de cambios	Área (Ha) de zonas Inundadas	%	Análisis comparativo de resultados
Interpretación Visual	16204.44	41.64	En esta técnica el porcentaje es alto comparado con las otras técnicas, debido a que el ojo humano agrupa áreas homogéneas sin poder discriminar pequeñas áreas secas.
Composiciones de color Multitemporal	14716.3	37.81	En esta técnica se realizó una clasificación no supervisada con el fin de calcular la superficie. Se concluyó que esta técnica sirve únicamente para una interpretación visual rápida.
Diferencia entre Imágenes	16030	41.19	Al igual que la interpretación visual esta técnica ofrece un porcentaje alto ya que esta técnica da un cambio relativo.
Cocientes Multitemporales	11126.3	28.59	Esta técnica da un cambio absoluto lo que quiere decir que es mejor que la diferencia. Su porcentaje está de acuerdo a la realidad ya que considera los

			cuerpos de agua permanentes en ambas imágenes y su porcentaje es muy parecido al de análisis multitemporal de imágenes.
Componentes Principales	13821.3	35.51	En esta técnica se realizó el análisis de las matrices de cargas factoriales que muestran el aporte de cada banda en los respectivos componentes lo que conlleva mayor tiempo de procesamiento y análisis de cada uno de los componentes.
Regresión	14164.4	36.39	Esta técnica estará enmarcada de acuerdo a los puntos escogidos en la imagen seca y lluviosa, para encontrar la ecuación de regresión, en los resultados obtenidos se confunde mucho entre los cuerpos de agua permanente y las zonas inundadas.
Vectores Multitemporales	13538.6	34.79	Esta técnica relaciona dos bandas de la época seca y dos bandas de la época lluviosa, lo importante en esta técnica es escoger bandas que tengan una alta reflectancia y una baja reflectancia (SWIR1-6 y Verde-3). Con el fin de que

			la distancia euclidiana separe las zonas inundadas de los cuerpos de agua permanente.
Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas	10947.65	28.13	El análisis multitemporal de imágenes es confiable ya que se analiza por separado cada época en la que se separa todo lo que es agua de no agua para luego compararlas entre si cuyo resultado da con claridad las zonas inundadas, pero es un método que consume más tiempo que los anteriores.

Tabla 11: Matriz de análisis comparativo de resultados de las técnicas de detección de cambios de imágenes ópticas.

Realizado por Salomé Verduga

3.8. MATRIZ DE ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LAS TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS DE IMÁGENES RADAR.

Con los resultados obtenidos en cada una de las técnicas de detección de cambios se procedió a realizar la matriz, ver tabla 12.

Técnicas de detección de cambios	Área (Ha) de Zonas inundadas	%	Análisis comparativo de resultados
Interpretación Visual	19279.56	49.54	Esta técnica al interpretar se confunden pixeles ya que es una sola banda en tonalidades de grises, es por eso que se puede cometer errores al apreciar las zonas inundadas, por

			esta razón su porcentaje es alto.
Composiciones de color Multitemporal	15672.2	40.27	Al realizar directamente la composición de color multitemporal, la banda de época seca tiene pixeles con valores medianamente altos, comparados con las técnicas de diferencia entre imágenes y cocientes multitemporales.
Diferencia entre Imágenes	10261.5	26.37	Esta técnica una vez obtenido su producto se procedió a realizar una composición a color con la época lluviosa, realizando mucho más las zonas inundadas y quitando ciertas zonas de cuerpos de agua permanentes que no son inundaciones, que en la técnica de composición a color multitemporal se confunde.
Cocientes Multitemporales	10327.3	26.53	Al igual que la diferencia entre imágenes el resultado mostro adecuadamente las zonas inundadas.

Tabla 12: Matriz de análisis comparativo de resultados de las técnicas de detección de cambios de imágenes RADAR.

Realizado por Salomé Verduga

3.9. SELECCIÓN DE LA MEJOR TÉCNICA EMPLEADA.

- **Selección de la mejor técnica empleada a imágenes ópticas (LANDSAT-8)**

Las técnicas que mejor resultados dieron son la de cocientes multitemporales (menor tiempo de ejecución) y Análisis Multitemporal de Imágenes Clasificadas. Para los análisis que se realizaran en el capítulo tres se escogió la técnica de clasificación de imágenes, aunque el procedimiento conlleva mayor tiempo de realización es la técnica que brinda mayor calidad en su producto dando resultados óptimos para la delimitación de las zonas inundadas.

- **Selección de la mejor técnica empleada a imágenes RADAR (Sentinel 1)**

La mejor técnica empleada en el análisis de imágenes de RADAR, es la técnica de cocientes multitemporales ya que ofrece un cambio absoluto entre las imágenes de época seca y época lluviosa, cabe recalcar que las imágenes de RADAR son excelentes ya que su longitud de onda atraviesan las nubes y se puede detectar las inundaciones en cualquier época.

4. CAPÍTULO IV

AFECTACIONES EN LOS SECTORES AGRÍCOLAS, POBLACIÓN E INFRAESTRUCTURA EN EL CANTÓN SAMBORONDÓN

Con la técnica de análisis multitemporal de Imágenes clasificadas se procedió a realizar el polígono del espejo de agua, con el que se realizaron los análisis espaciales propuestos en esta disertación.

4.1. AFECTACIÓN A LA AGRICULTURA, INFRAESTRUCTURA Y POBLACIÓN DENTRO DE LAS ZONAS INUNDADAS

Con el espejo de agua seleccionado se procedió a cortar las zonas agropecuarias, infraestructura y población, en la que se realizó clasificaciones de acuerdo al tema y se calculó sus respectivas estadísticas de afectación.

- **Estadísticas de las zonas agropecuarias afectadas (Ha por tipos de coberturas afectados)**

La reclasificación de las zonas agropecuarias se realizó de acuerdo al siguiente cuadro:

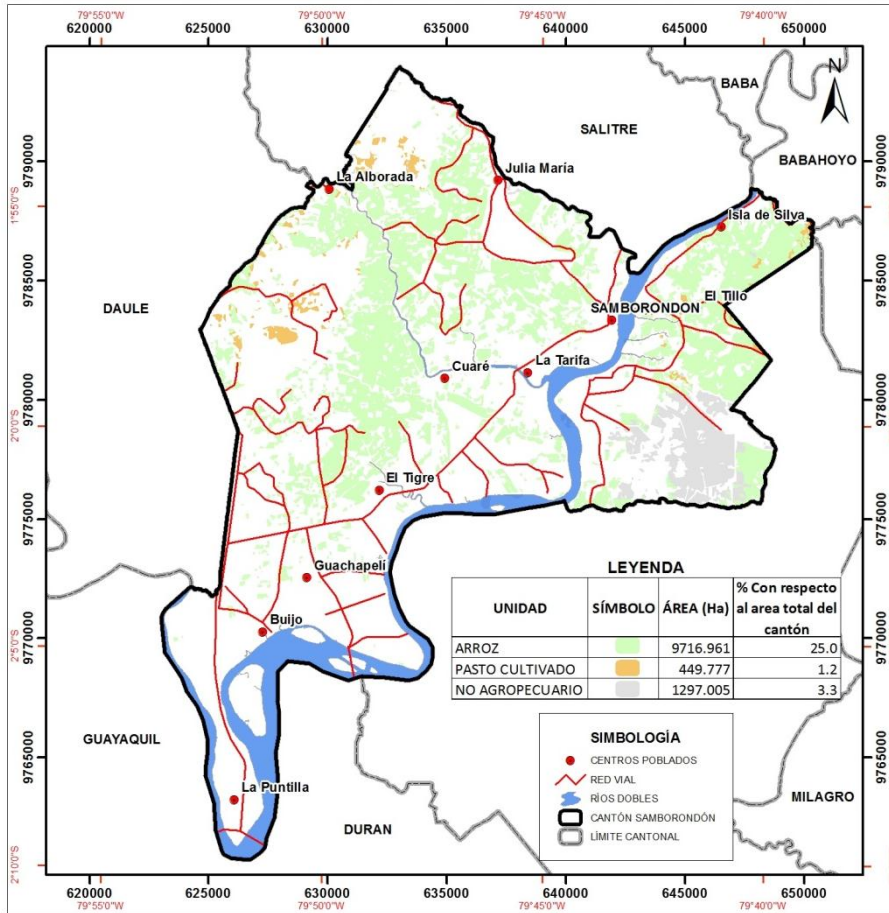
UNIDAD
ARROZ
PASTO CULTIVADO
NO AGROPECUARIO

Tabla 13: Reclasificación de zonas agropecuarias

Fuente (**Instituto Espacial Ecuatoriano, 2009**)

Realizado por Salomé Verduga

Con el software ArcGis, se realizó el análisis espacial con las zonas agropecuarias dando como resultado la imagen 104, en el que se calculó sus respectivas estadísticas (Mapa de Afectación a Zonas Agropecuarias 03/MAYO/2016 – Anexo 25).



**Imagen 107: Afectación a Zonas Agropecuarias
Realizado por Salomé Verduga**

Los datos estadísticos arrojan que una cuarta parte del cantón Samborondón perteneciente al cultivo de arroz se encuentra inundado, el 1.2% pasto cultivado y el 3.3% de zonas no agropecuarias.

- **Estadísticas de infraestructuras viales afectadas (km por tipos de vías afectadas)**

Para la realizar la afectación a la infraestructura vial se efectuó un corte con el polígono de las zonas inundadas, obteniéndose los resultados por tipo de vía y longitud en kilómetros, como se muestra en la imagen 108.

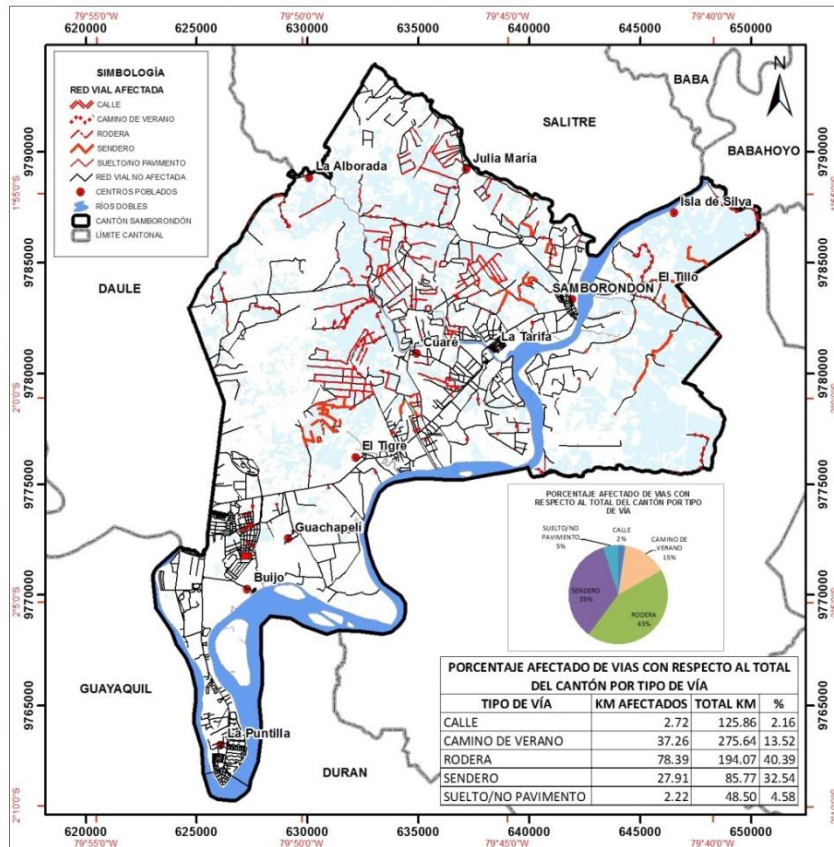


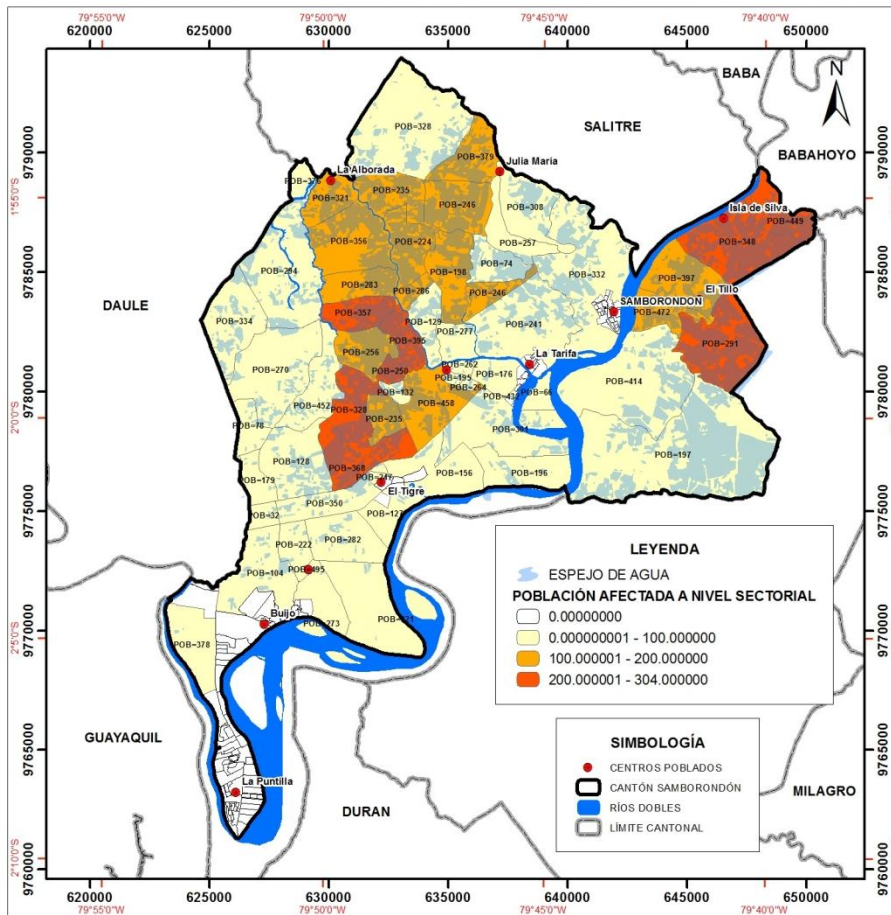
Imagen 108: Afectación a la Red Vial Realizado por Salomé Verduga

De las estadísticas realizadas, se desprende que la red vial tipo rodera es la más afectada con un 43%, seguido por los senderos con el 35% y caminos de verano con el 15% esto es debido a que estas vías no tienen obra de infraestructura de drenaje (cunetas, tubos, cañerías entre otros).

- **Estadísticas de población y vivienda afectada (número de habitantes afectados y viviendas afectadas)**

Población:

Para realizar las estadísticas de población, utilizando el software Redatam se extrajo los datos a nivel sectorial del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC. Por otro lado con el software ArcGis se intersectó las zonas inundadas con el mapa de población a nivel sectorial, para estimar el número de personas afectadas a este nivel, ver imagen 109.

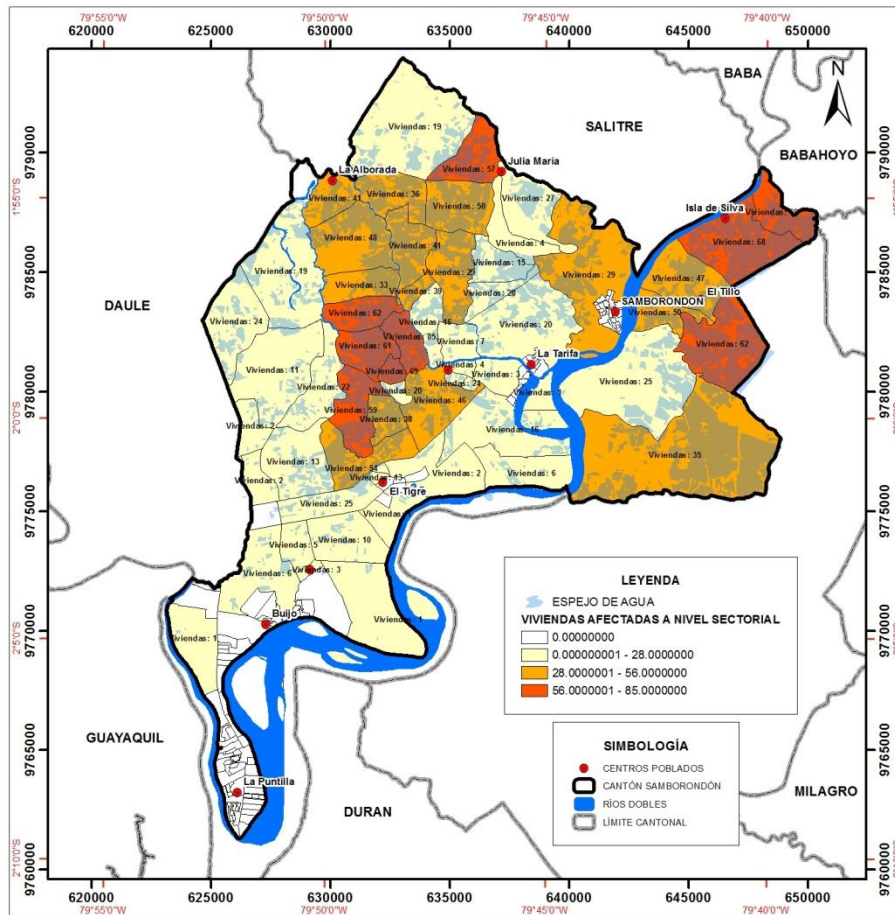


**Imagen 109: Afectación a la Población
Realizado por Salomé Verduga**

El resultado de este análisis espacial, determina que en el cantón de 200 a 304 personas son afectadas por inundaciones, ubicados en la parte noroeste y sureste del cantón.

Vivienda:

Con la ayuda del software Redatam, se realizó las estadísticas de viviendas a nivel sectorial, con datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC. Con el software ArcGis se enlazo los datos con el mapa a nivel sectorial, después se interseco las zonas inundadas, obteniendo el número de viviendas afectadas, ver imagen 110.



**Imagen 110: Afectación a viviendas
Realizado por Salomé Verduga**

En los resultados se observa que el mayor riesgo de inundación se encuentra en el rango de 56 a 85 viviendas afectadas.

4.2. RECOMENDACIONES PARA LA PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES.

- ✓ Implementar más estaciones meteorológicas de las existentes, para mejorar la red de registros hidrológicos y así tener una base de datos actualizada si es posible en tiempo real para tener información de pronta respuesta y así prevenir el riesgo.
- ✓ Establecer planes de manejo (obras, zonificación, asentamientos humanos), para minimizar el riesgo en la cuenca baja del río Guayas y para la microcuenca del río Babahoyo, las cuales influyen al cantón Samborondón.

- ✓ Mitigar los posibles efectos de las inundaciones mediante la construcción de obras de protección, control, trasvase y encauzamiento de las aguas.
- ✓ Mejorar la vialidad con infraestructura de drenaje para así evitar daños cuando existen inundaciones.
- ✓ Evitar que existan asentamientos humanos en zonas donde hay mayor peligro de riesgo a inundaciones.
- ✓ Evitar la deforestación en las partes altas de la cuenca ya que esto causa erosión y afecta a las planicies aumentando el cauce del río y provocando desbordamientos.
- ✓ De acuerdo a la delimitación de zonas inundadas en la presente disertación, evitar la construcción de obras de infraestructura, a no ser que cumplan con las características que las hagan resistentes a estos eventos, como las obras multipropósito (energía, regadío y control de inundaciones) para atenuar los desastres causados por los desbordamientos.

5. CONCLUSIONES

- ✓ Las técnicas que mejor resultados dieron para la delimitación de las zonas inundadas en las imágenes ópticas son: la de Cocientes Multitemporales por tener menor tiempo de ejecución y presentar resultados excelentes y el análisis multitemporal de imágenes clasificadas, por su mayor exactitud en la delimitación, pero con mayor tiempo en su proceso.
- ✓ La mejor técnica empleada en el análisis de imágenes de RADAR es la técnica de cocientes multitemporales ya que ofrece un cambio absoluto entre las imágenes de época seca y época lluviosa, permitiendo delimitar las zonas inundadas.

- ✓ Las imágenes de RADAR son eficientes para observar una región, sin afectación de la nubosidad debido a que su longitud de onda permite atravesarlas, logrando detectar las inundaciones en cualquier época.
- ✓ Las técnicas de detección de cambios, nos apoyan en la generación de cartografía de pronta respuesta en eventos de riesgos naturales como las inundaciones.
- ✓ De acuerdo al espejo de agua obtenido en la presente disertación, se realizó el análisis espacial donde se encontró que en el cantón un rango de 200 a 304 personas y de 56 a 85 viviendas son afectadas por inundaciones, ubicados en la parte noroeste y sureste, que son las zonas donde existe mayor riesgo por inundación.
- ✓ Según el cruce del espejo de agua obtenido de la presente disertación con la red vial se determinó que las inundaciones afectan a la red vial de tipo rodadura con un 43%, seguido por los senderos con el 35% y caminos de verano con el 15%, debido a que estas no tienen obra de infraestructura que permita un buen drenaje (cunetas, tubos, cañerías entre otros).
- ✓ Los datos estadísticos arrojan que el 25% del cantón Samborombón perteneciente al cultivo de arroz se encuentra inundado, el 1.2% pasto cultivado y el 3.3% de zonas no agropecuarias, según el análisis espacial realizado entre el espejo de agua obtenido de la presente disertación y el mapa de uso del suelo recopilado.
- ✓ **De acuerdo al diagnóstico territorial realizado del cantón se concluye:**
 - Según la recopilación Histórica de las inundaciones del cantón Samborombón, las fuertes precipitaciones que se presentan regularmente, las condiciones climatológicas y antrópicas, han conllevado a grandes desastres por inundaciones, principalmente desde los años 1957-58, 1982-83, 1997-98, dejando consecuencias negativas en aspectos sociales económicos y de salubridad, por lo que es importante el tema de esta disertación, para el apoyo a los planes de ordenamiento.

- De acuerdo a los datos biofísicos, el cantón Samborondón es una zona susceptible de inundación, por su relieve de pendientes suaves, suelos con texturas arcillosas que no permiten una buena filtración, sin embargo estas características no son del todo negativas, porque cumplen con condiciones favorables para el cultivo del arroz, uno de los principales productos que dinamiza la economía del cantón.
- El sistema hídrico del cantón tiene influencia del flujo y reflujo de las mareas del golfo de Guayaquil, está conformado por los ríos Babahoyo y Daule, los mismos que son afluentes del río Guayas, aportando grandes masas de agua que fluyen hacia el sur del golfo de Guayaquil, lo que aunado a las fuertes precipitaciones de la época invernal hacen que estos se desborden causando inundaciones.
- Del resultado de la vulnerabilidad y amenaza de inundación se obtiene que el riesgo al sector económico es de 46% alto, 24% de medio o moderado y 5% de muy alto.
- Según los aspectos de infraestructura y demografía, la parroquia Samborondón tiene una población de 51634 habitantes y la parroquia Tarifa 15956 habitantes, con 70 centros educativos y 5 centros de salud los cuales son de primer nivel según fuentes del Censo de Población y Vivienda.
- En los aspectos económicos del cantón se encontró que en el cantón 5677 personas trabajan en la parroquia Tarifa donde se dedican 2859 habitantes a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, que es la actividad principal y 23116 en la parroquia Samborondón en donde las ramas de mayor actividad son el comercio al por mayor y menor con 4758 habitantes, y en agricultura, ganadería, silvicultura y pesca 3860 habitantes.

- En la parroquia de Samborondón 4539 habitantes se dedican a actividades como directores y gerentes, seguido de las ocupaciones elementales con 4358 habitantes, profesionales científicos e intelectuales con 3393 habitantes; en la parroquia de Tarifa el grupo de ocupación más característico lo conforman las ocupaciones elementales con 2916, son agricultores y trabajadores calificados con 492 habitantes y 472 son trabajadores de los servicios y vendedores.
- Según los aspectos de movilidad energía y conectividad, la red vial del cantón está bien distribuida por una amplia red vial, su red eléctrica posee líneas de transmisión y subtransmisión de sur a norte y de oeste a este en la parte sur y posee una red de acueducto en los centros poblados y a sus alrededores.
- Existe solo un asentamiento humano jerarquizado como local según la jerarquización de la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo - SENPLADES, los sitios turísticos se encuentran solamente en la parroquia Samborondón.

6. BIBLIOGRAFÍA

- El Telégrafo. (12 de Febrero de 2015). 500 familias afectadas por inundaciones. *Diario El Telégrafo*, pág. 1.
- Arce Neira, M., & Ortega Candia, G. (2015). *Actualización Cartográfica Con Imágenes Satelitales*. Santiago de Chile: Universidad Santiago de Chile.
- Arévalo Espejo, V. (2011). *Detección automática de cambios urbanos a partir de imágenes de satélite*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Ariza, A., & IGAC. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá: IGAC-Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Bedón Pérez, F., & Pinto Aldaz, S. (2012). *EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE CAMBIOS DEL USO DE LA TIERRA A TRAVÉS DEL ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES EN EL CANTÓN DAULE*. Sangolquí: ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección Ambiental, La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Planeta S.A.
- CIIFEN. (2009). *Definición del Riesgo*. Recuperado el 05 de Mayo de 2016, de http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es
- CLIRSEN. (2008). XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. *Evaluación de las inundaciones de la cuenca baja del guayas, datos de manejo* (pág. 1). Quito: .
- Edrosa, R. M. (2011). *Aplicación de la Teledetección para el Monitoreo de Eventos Hídricos Superficiales mediante Imágenes Cosmo SkyMed*. Córdoba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA.
- El Telégrafo. (25 de Marzo de 2017). Fuertes lluvias dejan inundaciones y deslaves en 6 cantones de El Oro. *Diario El Telégrafo*, pág. 1.
- EL UNIVERSO. (01 de Mayo de 2005). Cultivos de Samborondón, bajo el agua. *Diario El Universo*.
- EL UNIVERSO. (05 de Marzo de 2006). Innfa entregó alimentos en Samborondón. *Diario El Universo*, pág. 1.
- EL UNIVERSO. (17 de Febrero de 2011). Fuertes lluvias provocan inundaciones en Samborondón. *Diario El Universo*, pág. 1.
- Fernández Freire, C., González Cascón, M., Gómez Domínguez, A., & Gómez Nieto, I. (2011). *Introducción a la teledetección con ERDAS IMAGINE*. Madrid: Ministerio de Ciencia e Innovación, Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- García, L. (1998). *Las Lecciones de El Niño - Ecuador*. Caracas: Corporación Andina de Fomento.

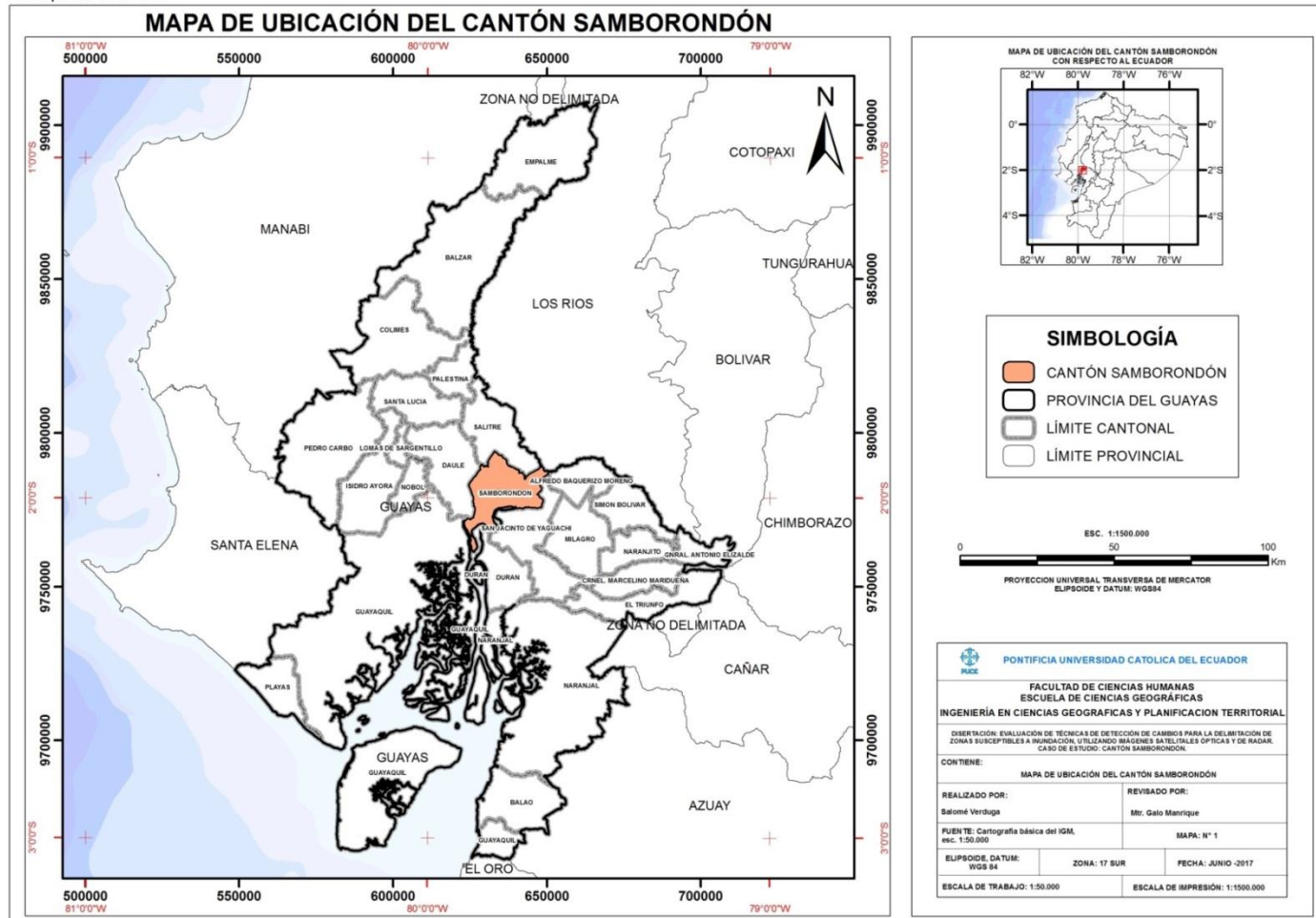
- Geocento. (2015). *GEOCENTO earth imaging*. Recuperado el 27 de Agosto de 2017, de Satélite de imágenes SENTINEL 1: <http://geocento.es/galeria-de-satelites-para-buscar-y-adquirir-imagenes/satelite-imagenes-sentinel-1/>
- González Sánchez, E. (2008). *Probabilidad y Estadística*. Recuperado el 05 de Mayo de 2016, de <http://www2.dis.ulpgc.es/~ii-pest/sesion7-spss.pdf>
- Gutierrez , M. (2008). *Geomorfología. Madrid-España*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Hernández Navarro, A. (14 de Agosto de 2009). *Centros de Colaboración Geoespacial como apoyo en la generación de Cartografía de pronta respuesta*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de https://unstats.un.org/unsd/geoinfo/RCC/docs/.../9th_UNRCCA_econf.99_IP27.pdf
- INEC. (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado el 21 de marzo de 2017, de Redatam: <http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction>
- INISIG. (10 de Febrero de 2014). *INISIG Plataforma de Formación y Divulgación SIG*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de <http://inisig.com/introduccion-al-analisis-espacial-i/>
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2009). *Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional a escala 1:25.000*. Quito: IEE.
- Instituto Espacial Ecuatoriano. (2009). *GENERACION DE GEOINFORMACION PARA LA GESTION DEL TERRITORIO Y VALORACION DE TIERRAS RURALES DE LA CUENCA DEL RIO GUAYAS ESCALA 1:25.000*. Quito: IEE.
- La República. (21 de Marzo de 2015). La “marea del siglo” provoca inundaciones en Guayaquil. *Diario La República*, pág. 1.
- Ludeña Rodríguez, Y. (2000). *Análisis estadístico del sistema de recolección y transporte de aguas servidas de una cabecera cantonal de la provincia del guayas: El caso Samborondón*. Guayaquil: ESPOL.
- Macías Medrano, J. (1998). Capítulo 4 : Análisis espacial del riesgo y el riesgo del análisis espacial. El uso de los SIG para el atlas regional de riesgos de Colima. En A. MASKREY, *Navegando Entre Brumas La Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica al Análisis de Riesgo en America Latina* (págs. 83-92). Lima: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (La Red).
- Maldonado, F. D., & dos Santos, J. R. (2005). Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 601-608. *Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica*. (págs. 601-608). Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -MCT/INPE-Brasil.
- Manrique Yacelga, G. (2007). *Riesgos Naturales*. Quito: PUCE.
- Ministerio de Salud Pública, & Organización Panamericana de la Salud. (1998). *El Fenomeno El Niño en Ecuador*. Guayaquil: Ministerio de Salud Pública.
- Moreno Jiménez, A. (2005). Sistemas y análisis de la información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS. *Geofocus*, 895.

- Municipalidad de Samborondón. (2012). *Plan Cantonal de Desarrollo y Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2022*. Samborondón: GAD Samborondón.
- OMM/UNESCO. (2012). *Glosario Hidrológico Internacional*. Suiza: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial.
- Porrout , P., & Gómez, G. (1998). *EL ECUADOR AL CRUCE DE VARIAS INFLUENCIAS CLIMÁTICAS. UNA SITUACION ESTRATÉGICA PARA EL ESTUDIO DEL FENOMENO EL NIÑO*. Lima: Institut Français d'Études Andines.
- Riaño M., O. (Noviembre de 2002). *Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa*. Recuperado el 24 de Junio de 2017, de <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3306/4808>
- Sanchez Angulo, L. (Junio de 2009). *UNIVERSIDAD LOS ÁNGELES DE CHIMBOTE*. Recuperado el 26 de Marzo de 2017, de MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE: http://files.uladech.edu.pe/docente/17817631/mads/Sesion_1/Temas%20sobre%20medio%20ambiente%20y%20desarrollo%20sostenible%20ULADECH/14._Impacto_ambiental_lectura_2009_.pdf
- Soldano , Á. (2009). Capacitación en Teledetección Aplicada a la Reduccion del Riesgo por Inundaciones. *Deteccion de Cambios* (pág. 1). Cordoba: CONAE.
- Soldano, A. (2009). *Teledeteccion Aplicada a la Reducción del Riesgo por Inundaciones*. Falda del Carmen: Departamento de Desarrollo Sostenible de la Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Townshend, J., Justice, C., Gurney, C., & McManus, J. (1992). *The Impact of Misregistration on Change Detection*. College Park: IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING.
- Ulloa, Fernando; Organización de las Naciones Unidas para la Educacion la Ciencia y la Cultura. (2011). *MANUAL DE GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRE PARA COMUNICADORES SOCIALES*. Recuperado el 31 de Mayo de 2017, de unesdoc.unesco.org/images/0021/002191/219184s.pdf
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2013). *Paleontología Mexicana* (Vol. 3). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- USDA; NRCS. (2006). *Claves para la Taxonomía de Suelos* (Decima ed.). (M. Gutiérrez Castorena, & O. Carlos A. , Trads.) Washington, DC: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos; Servicio de Conservación de Recursos Naturales;.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras*. Bogota: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Winckell, A. (1997). *Los Paisajes Naturales del Ecuador. Tomo IV Volumen 2 Geografía Física*. Quito: Talleres Gráficos IGM.

7. ANEXOS

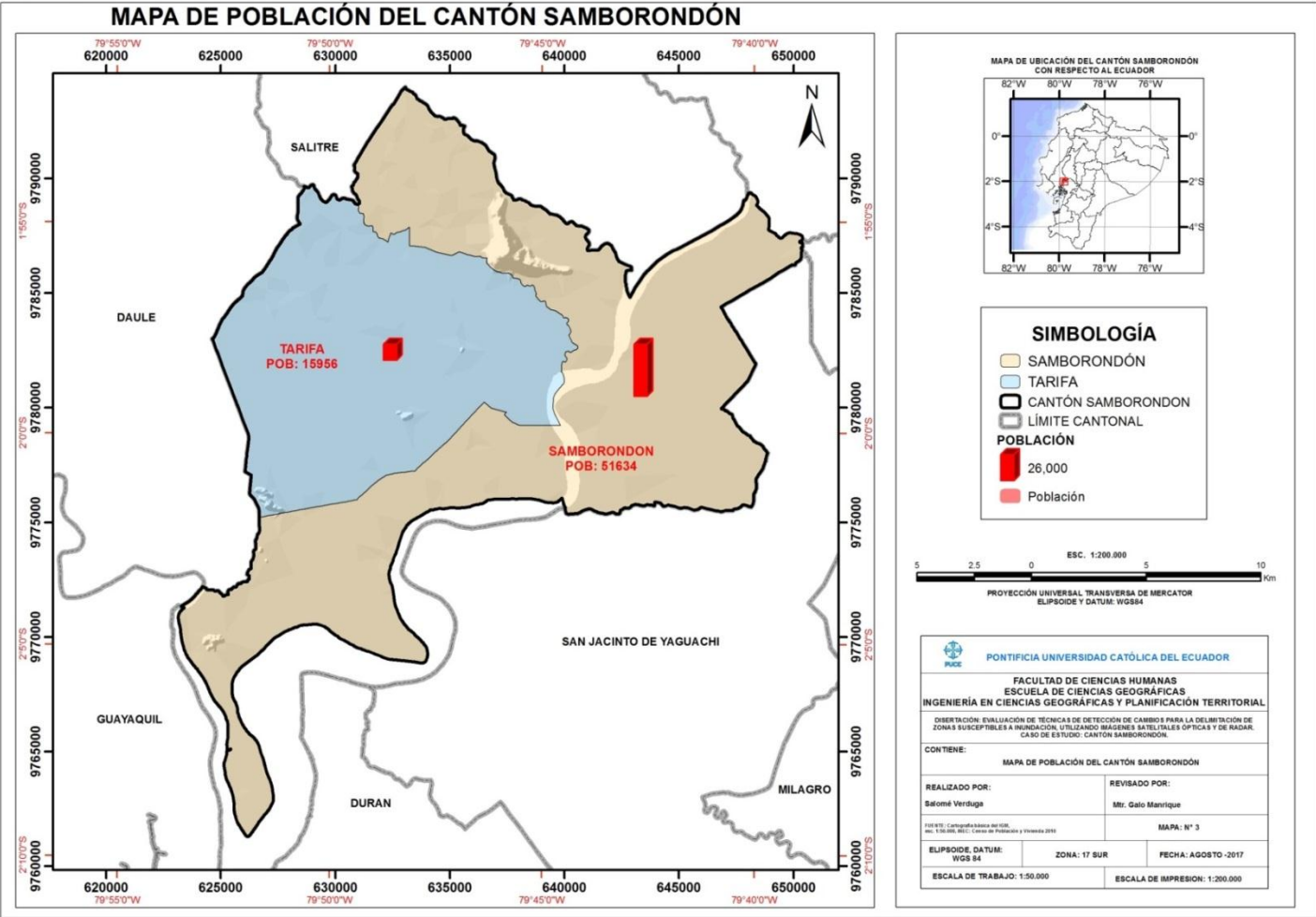
Anexo 1: Mapa de ubicación

1. Mapa de Ubicación



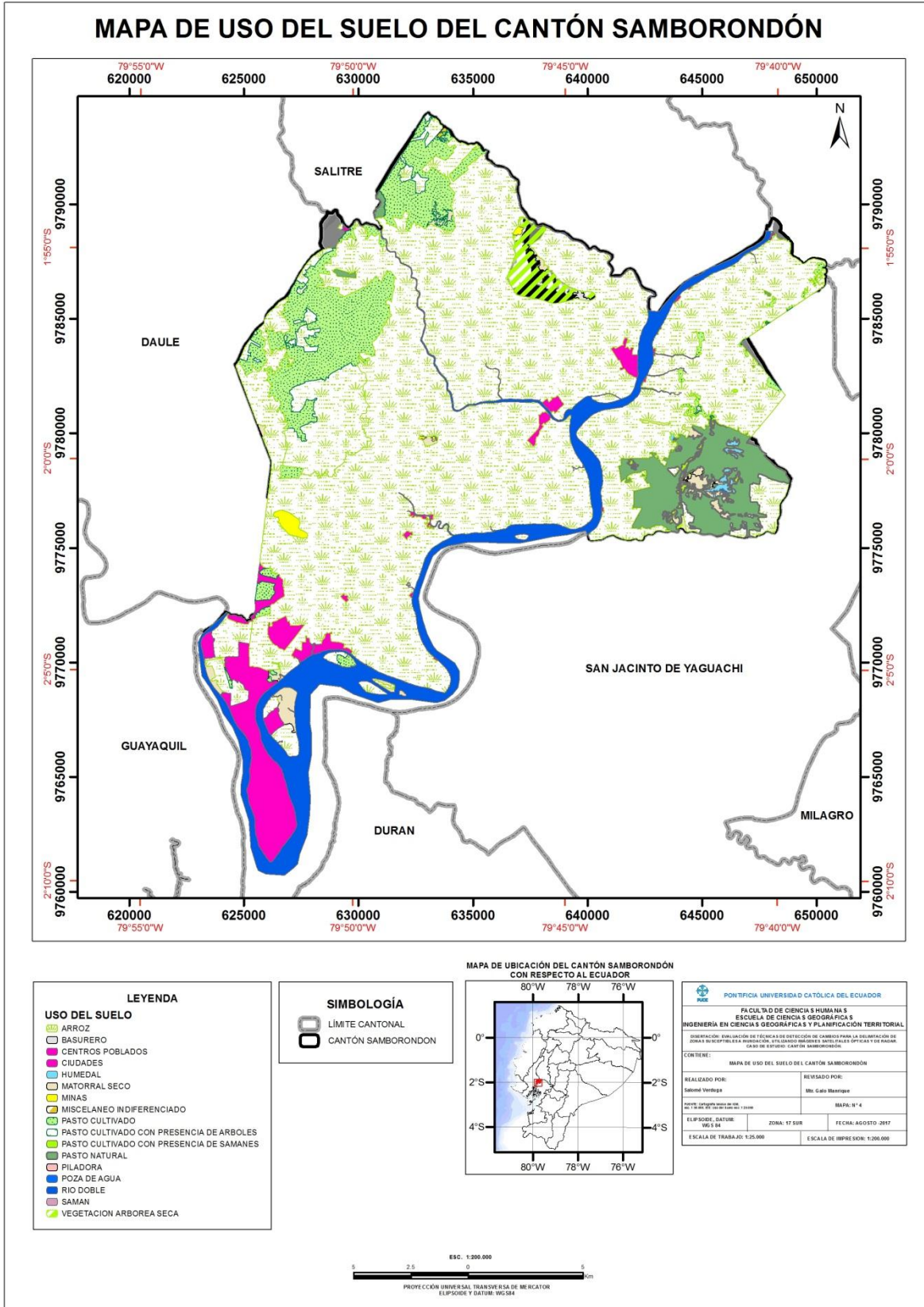
Anexo 3: Mapa de población

3. Mapa de población



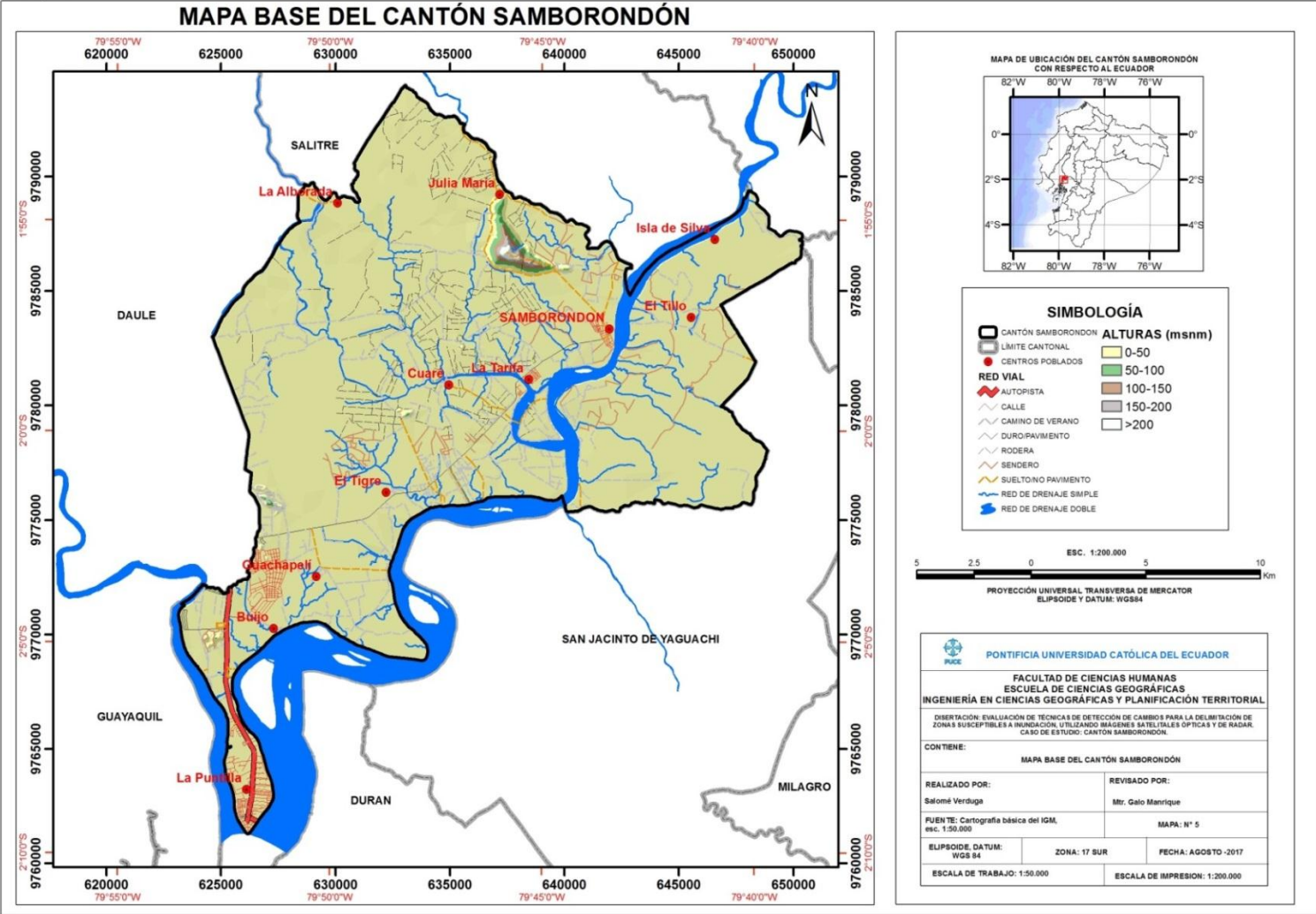
Anexo 4: Mapa de uso del suelo

4. Mapa de uso del suelo



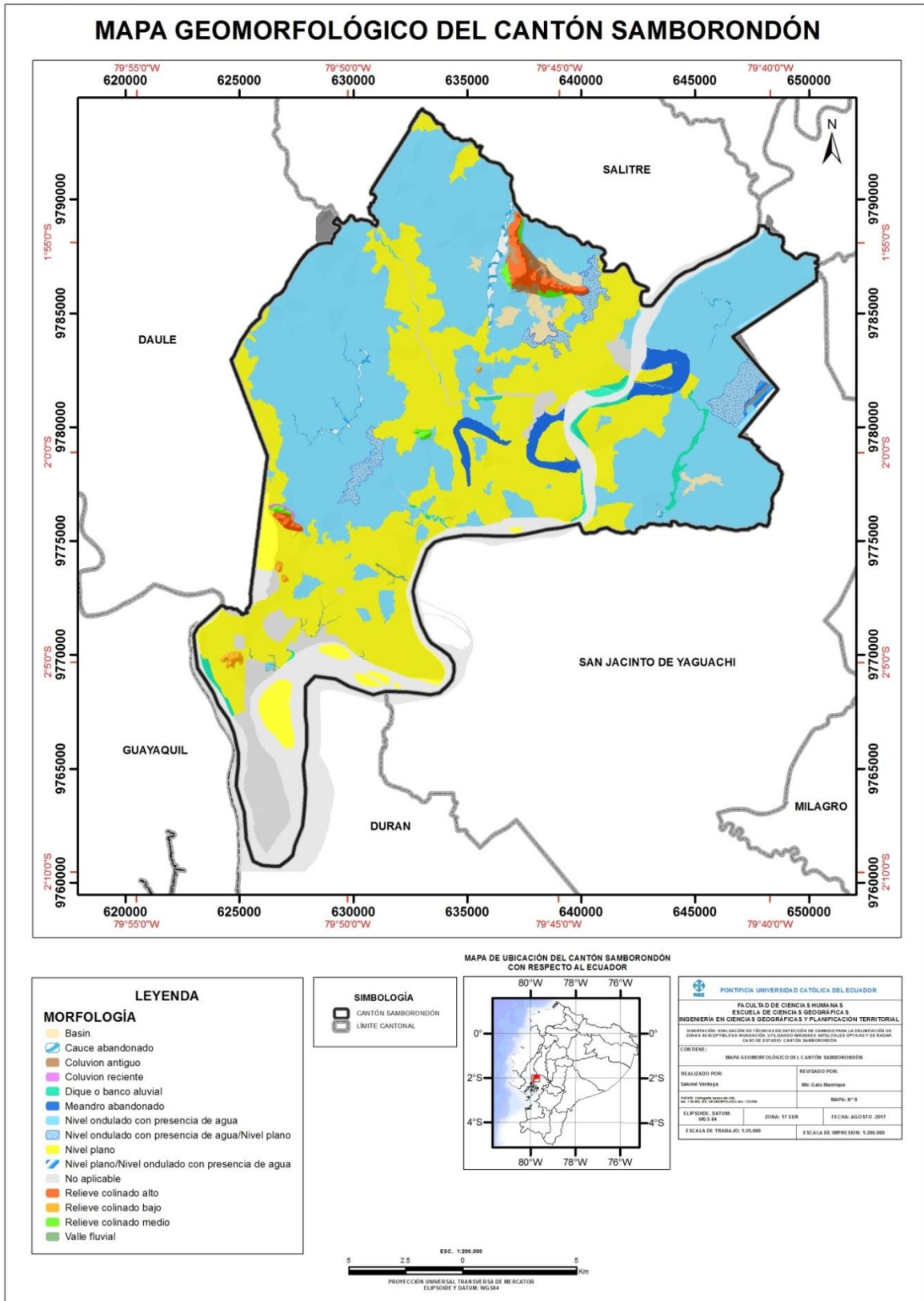
Anexo 5: Mapa Base

5. Mapa base



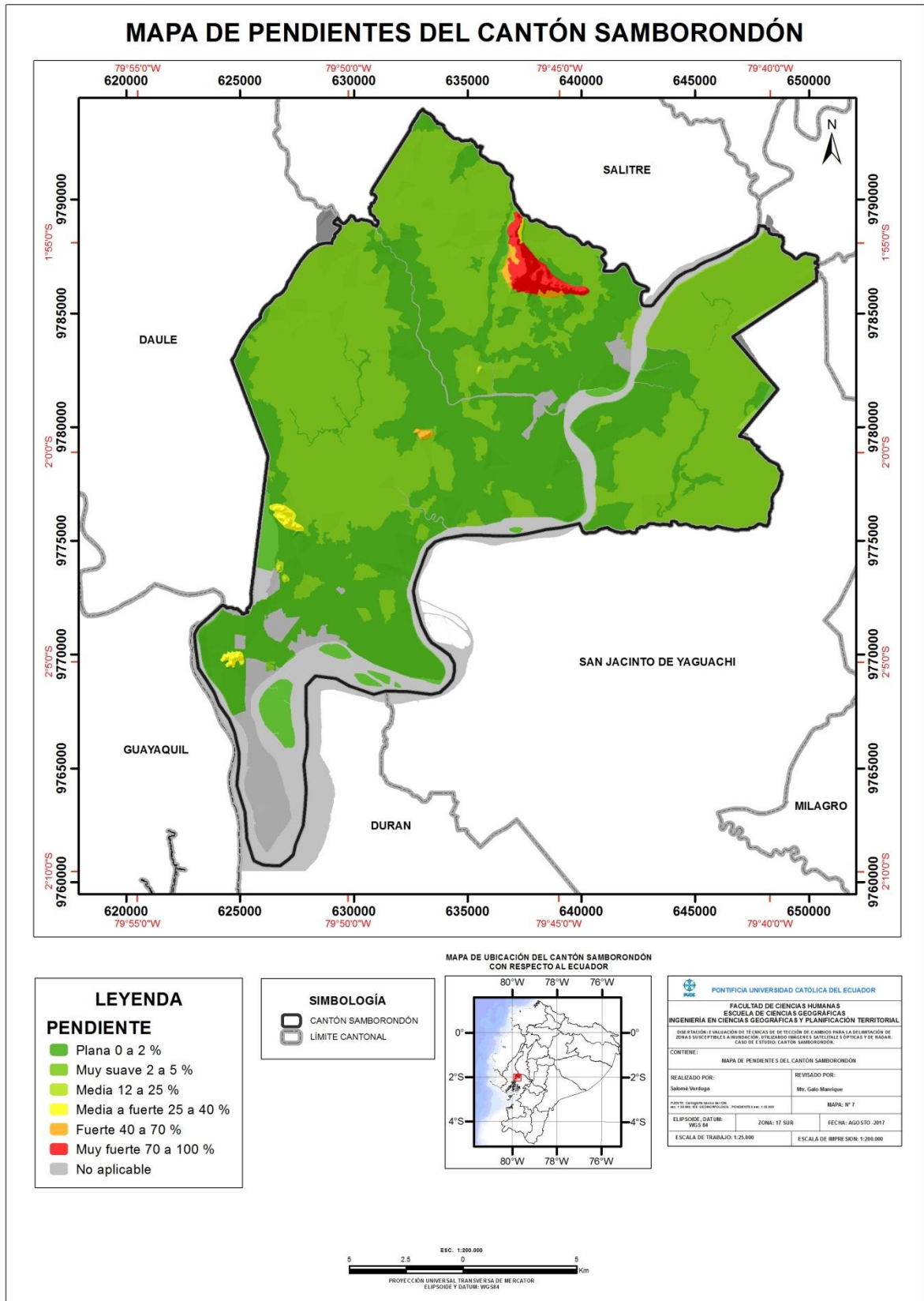
Anexo 6: Mapa geomorfológico

6. Mapa geomorfológico



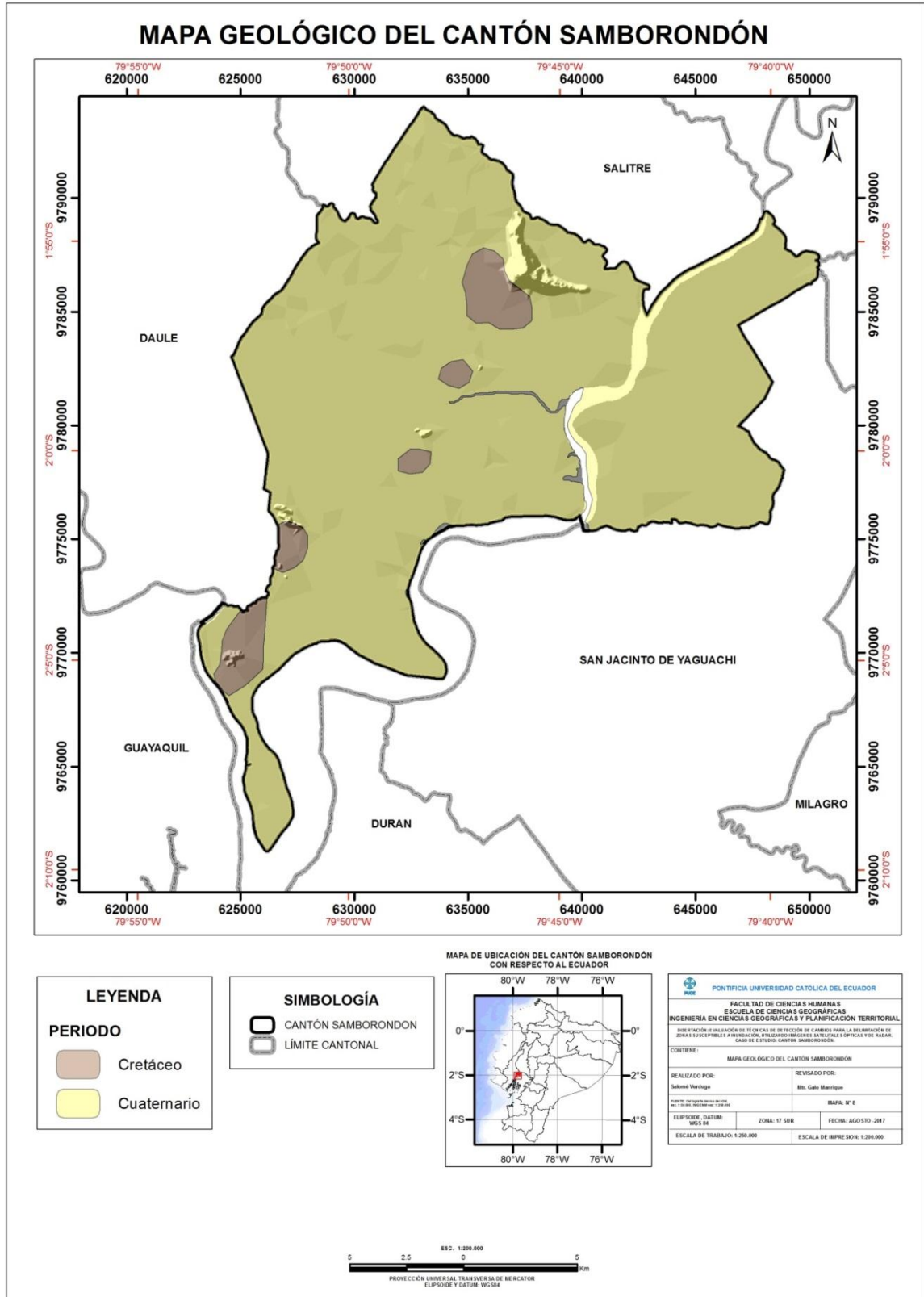
Anexo 7: Mapa de pendientes

7. Mapa de pendientes



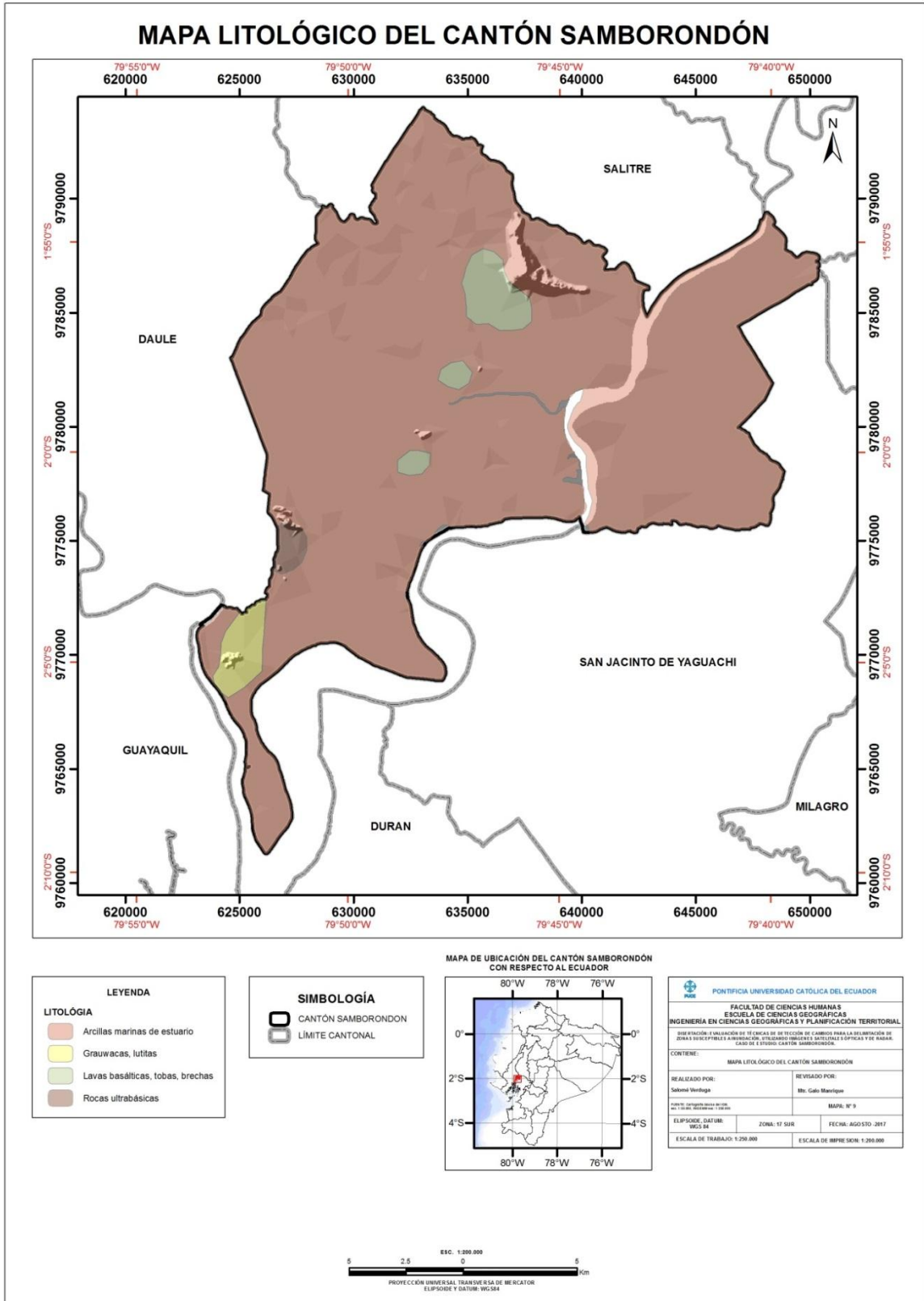
Anexo 8: Mapa geológico

8. Mapa geológico



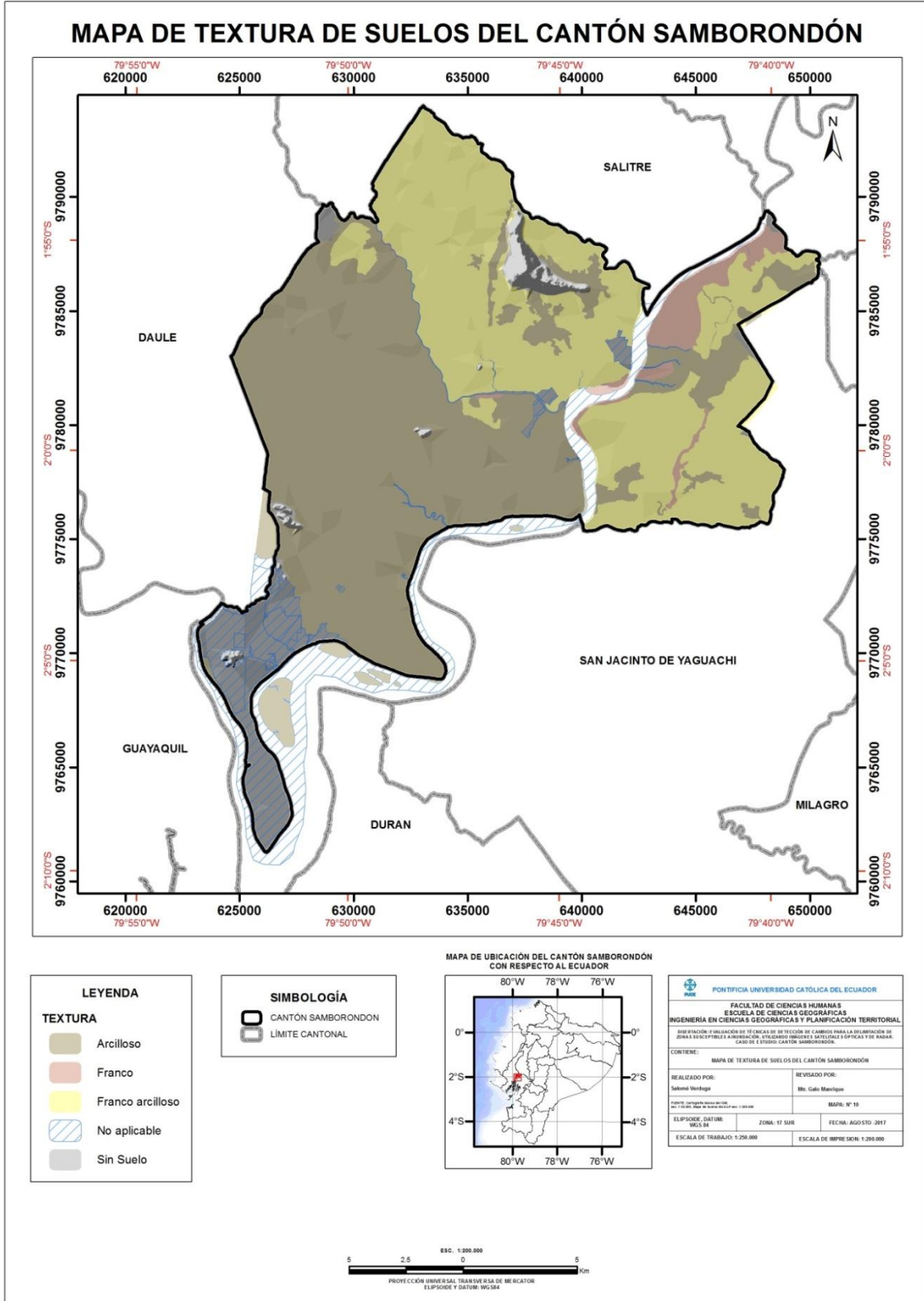
Anexo 9: Mapa litológico

9. Mapa Litológico



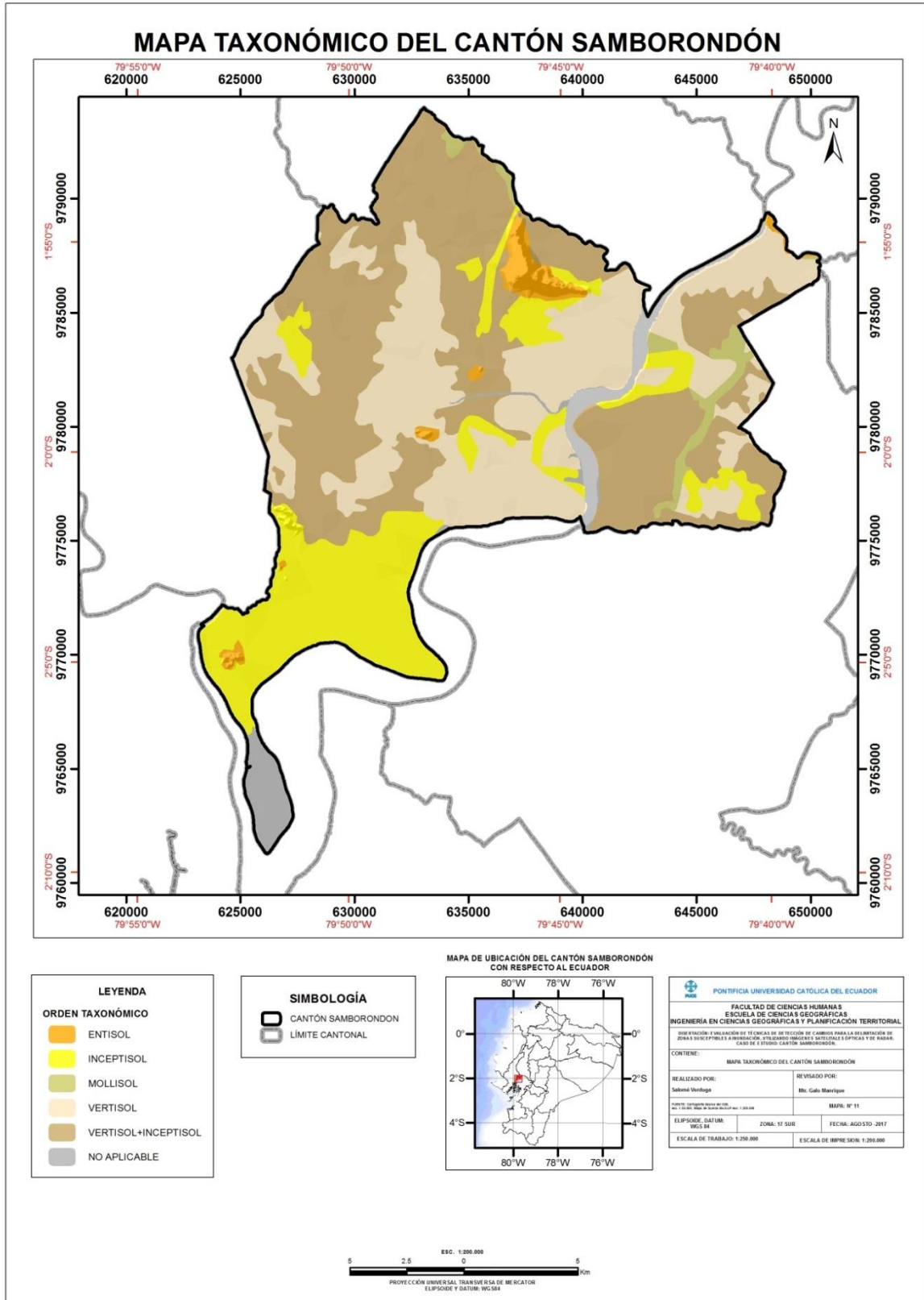
Anexo 10: Mapa de textura de suelos

10. Mapa de Textura de Suelos



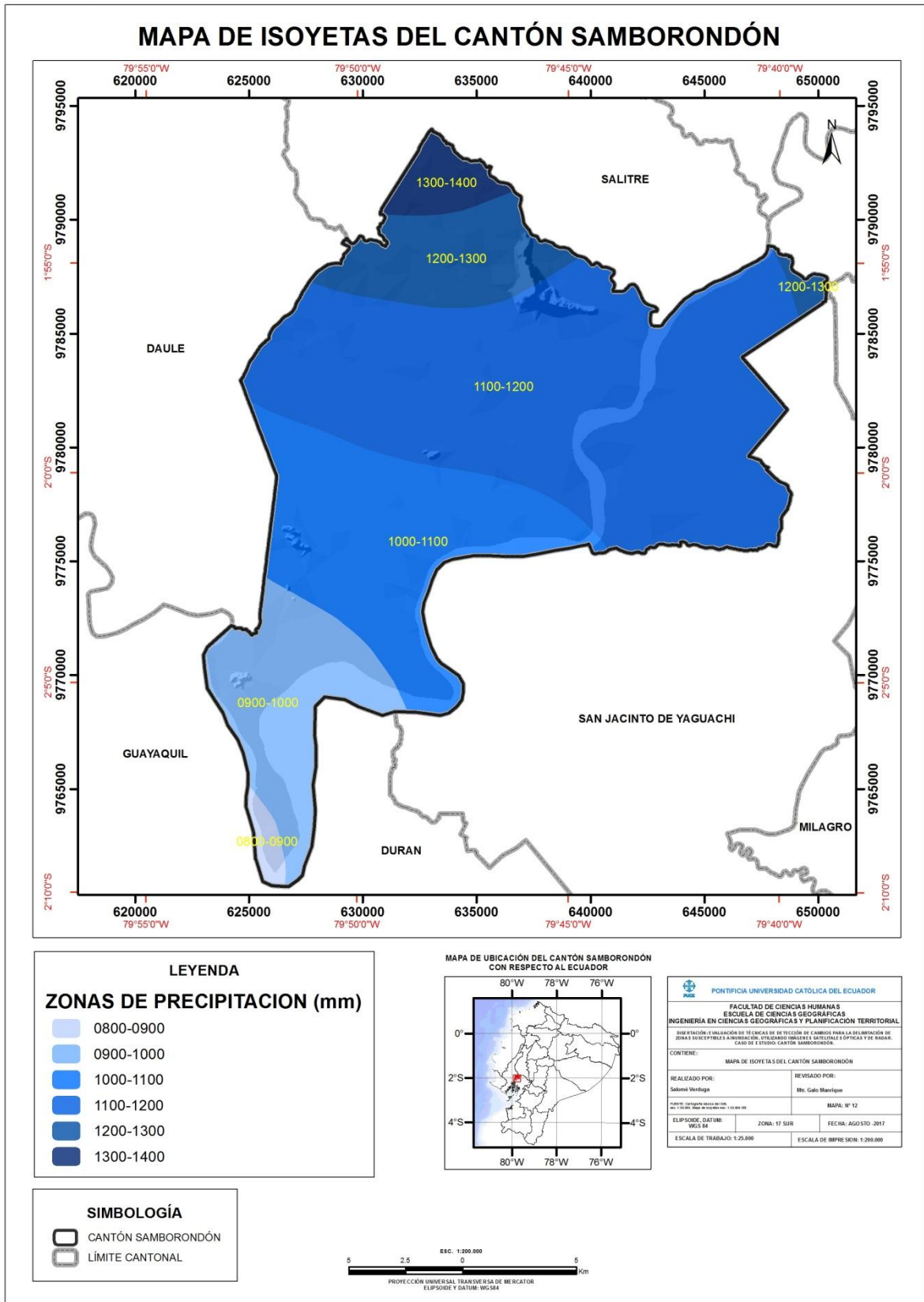
Anexo 11: Mapa Taxonómico

11. Mapa Taxonómico



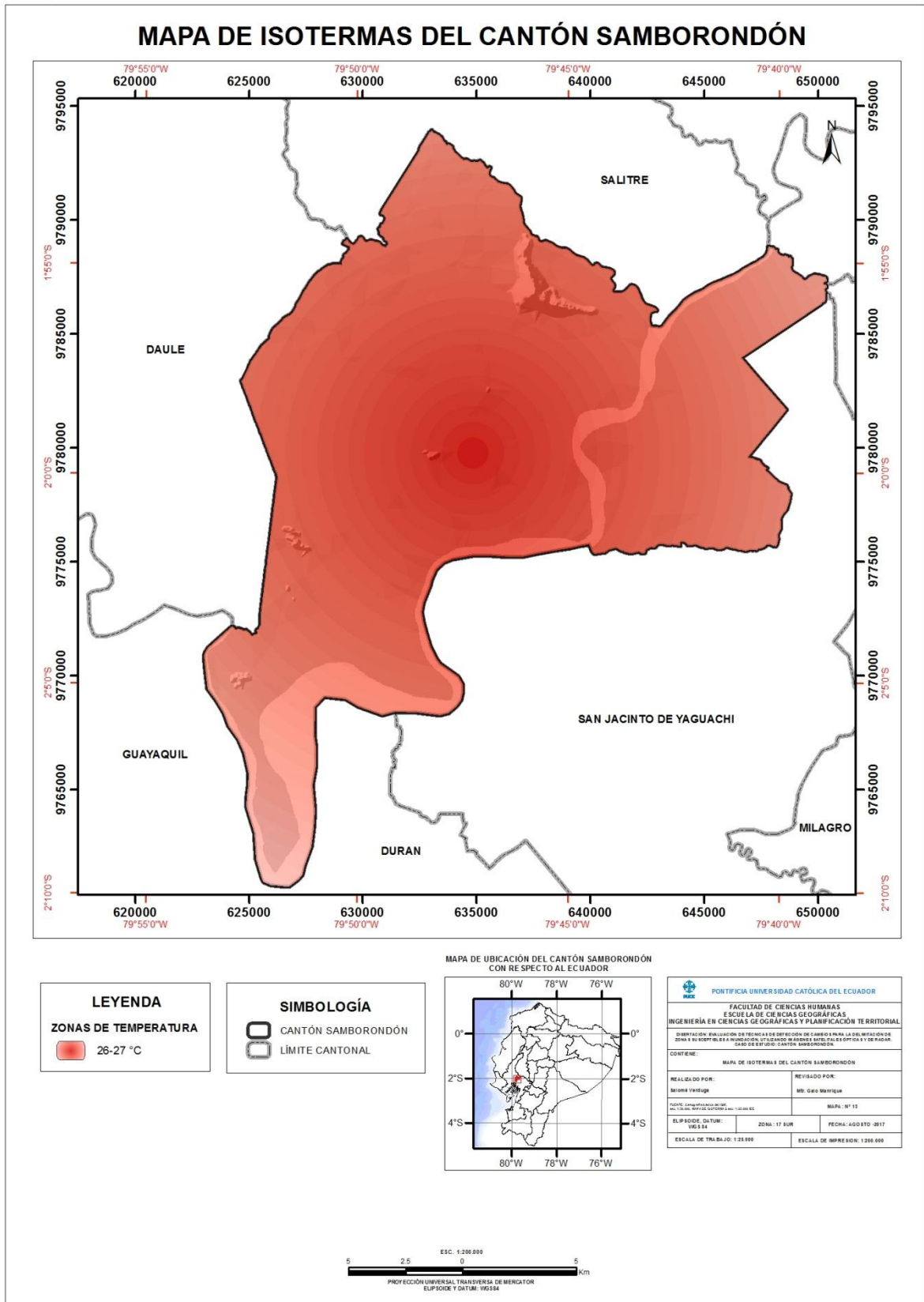
Anexo 12: Mapa de isoyetas

12. Mapa de Isoyetas



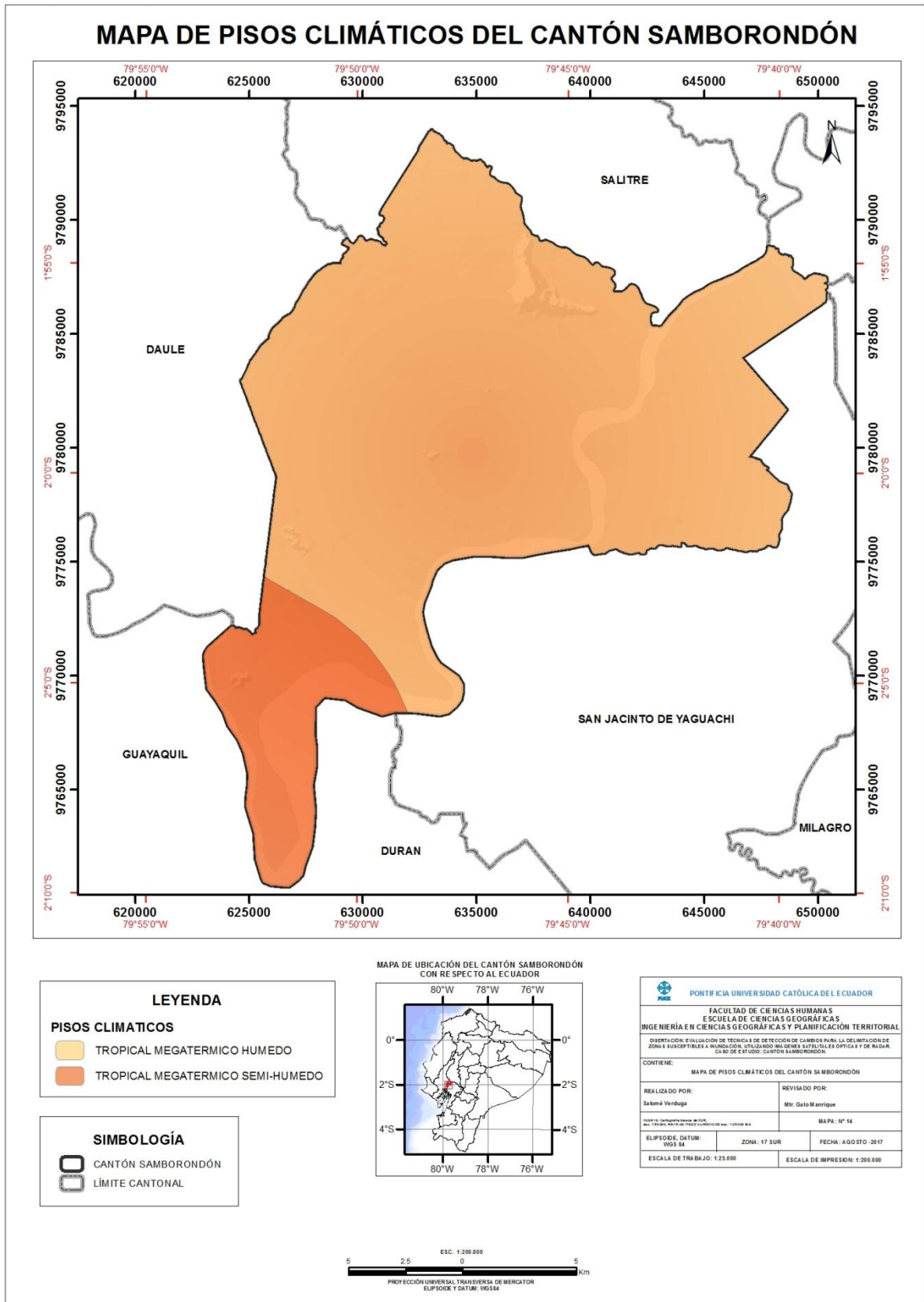
Anexo 13: Mapa de Isotermas

13. Mapa de Isotermas



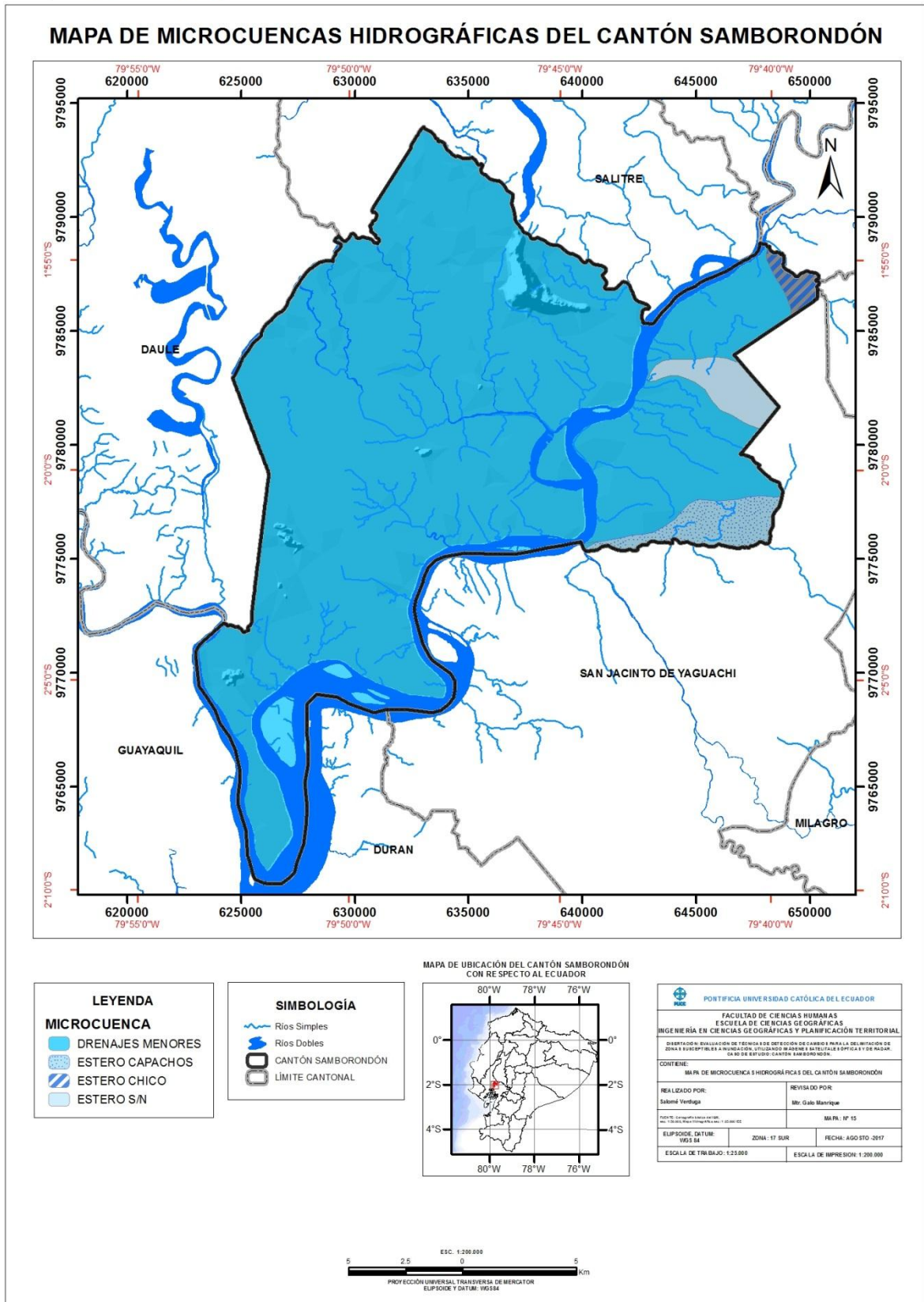
Anexo 14: Mapa de Pisos Climáticos

14. Mapa de Pisos Climáticos



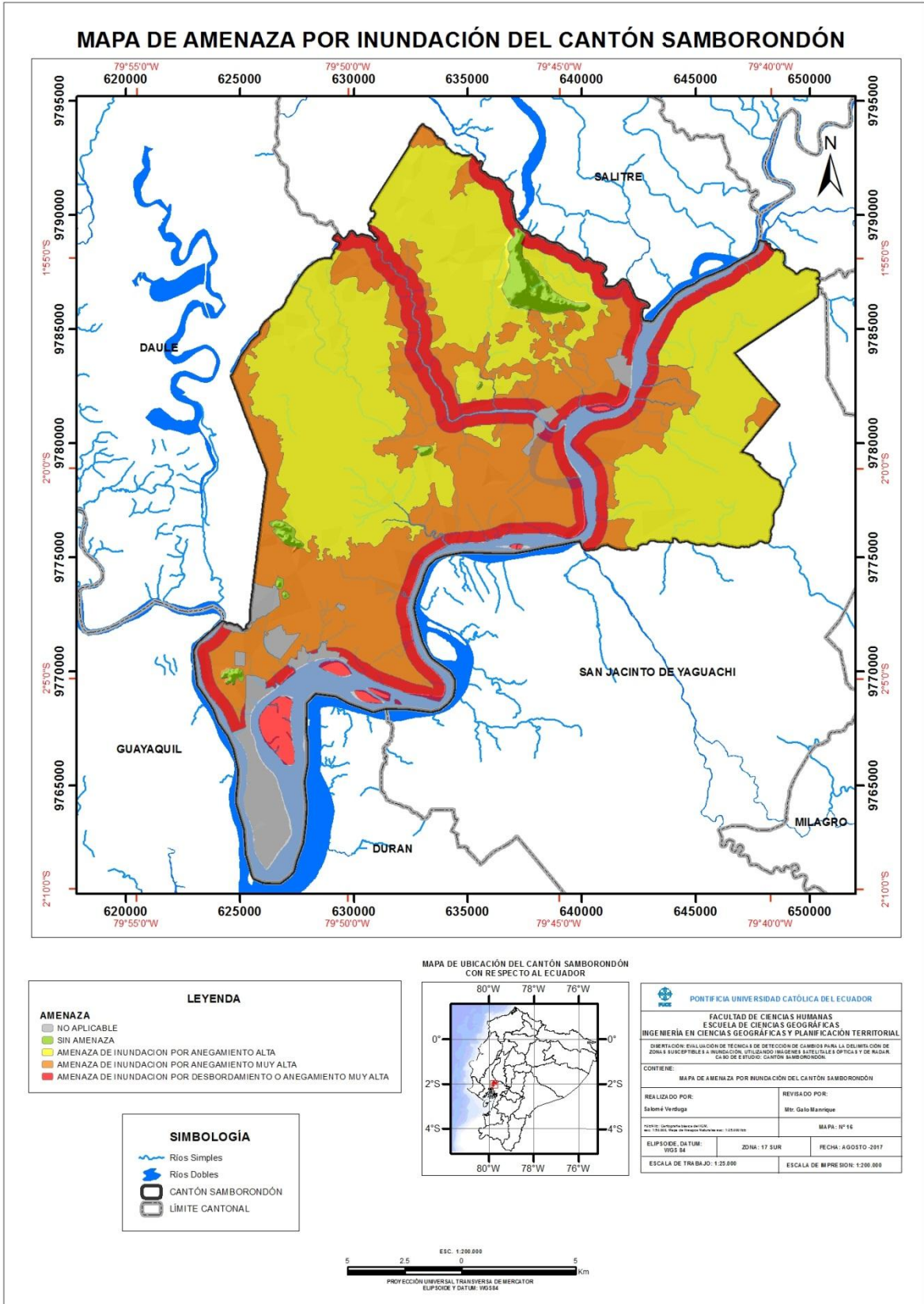
Anexo 15: Mapa de Microcuencas Hidrográficas

15. Mapa de Microcuencas Hidrográficas



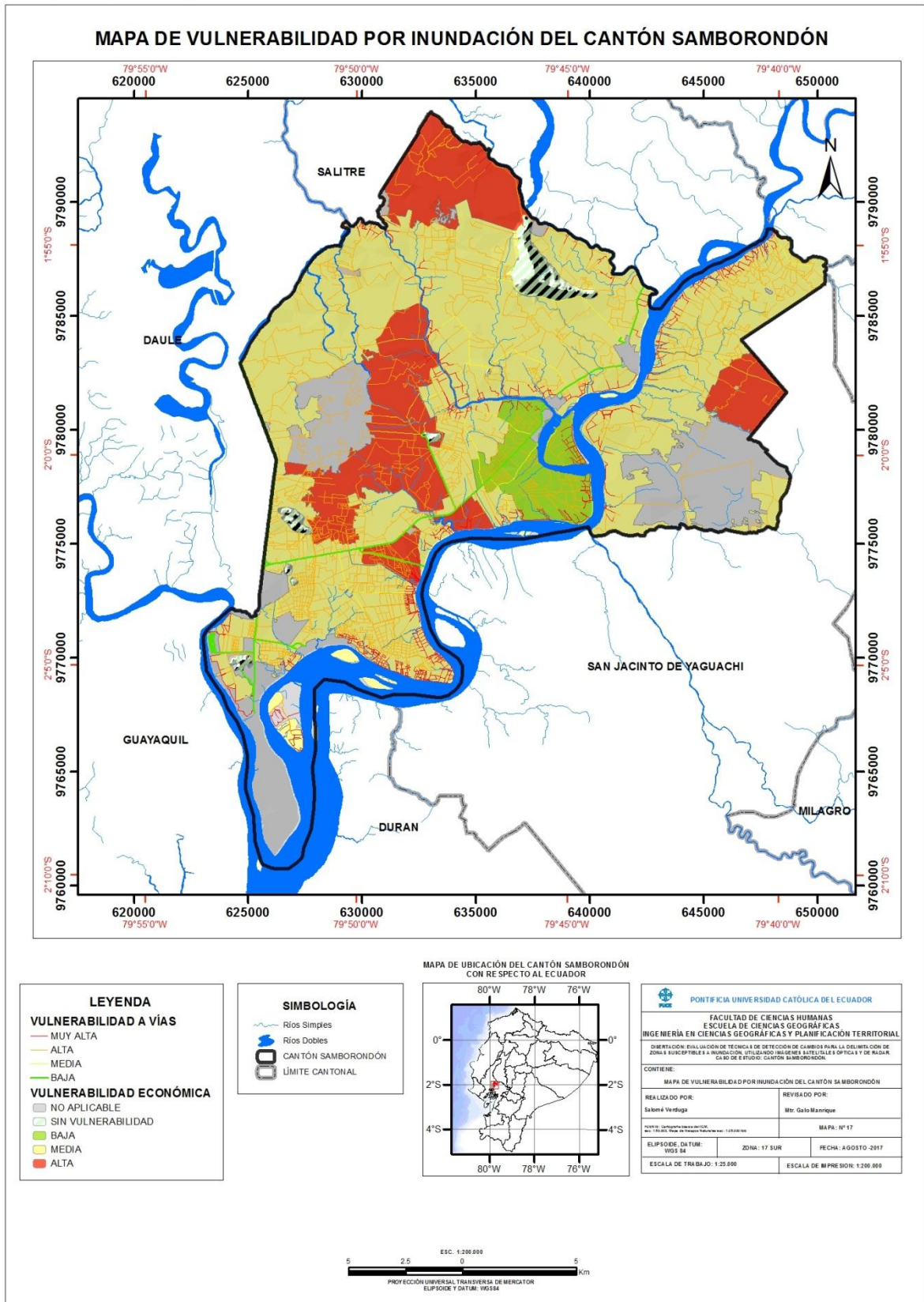
Anexo 16: Mapa de Amenaza de Inundación

16. Mapa de Amenaza por Inundación



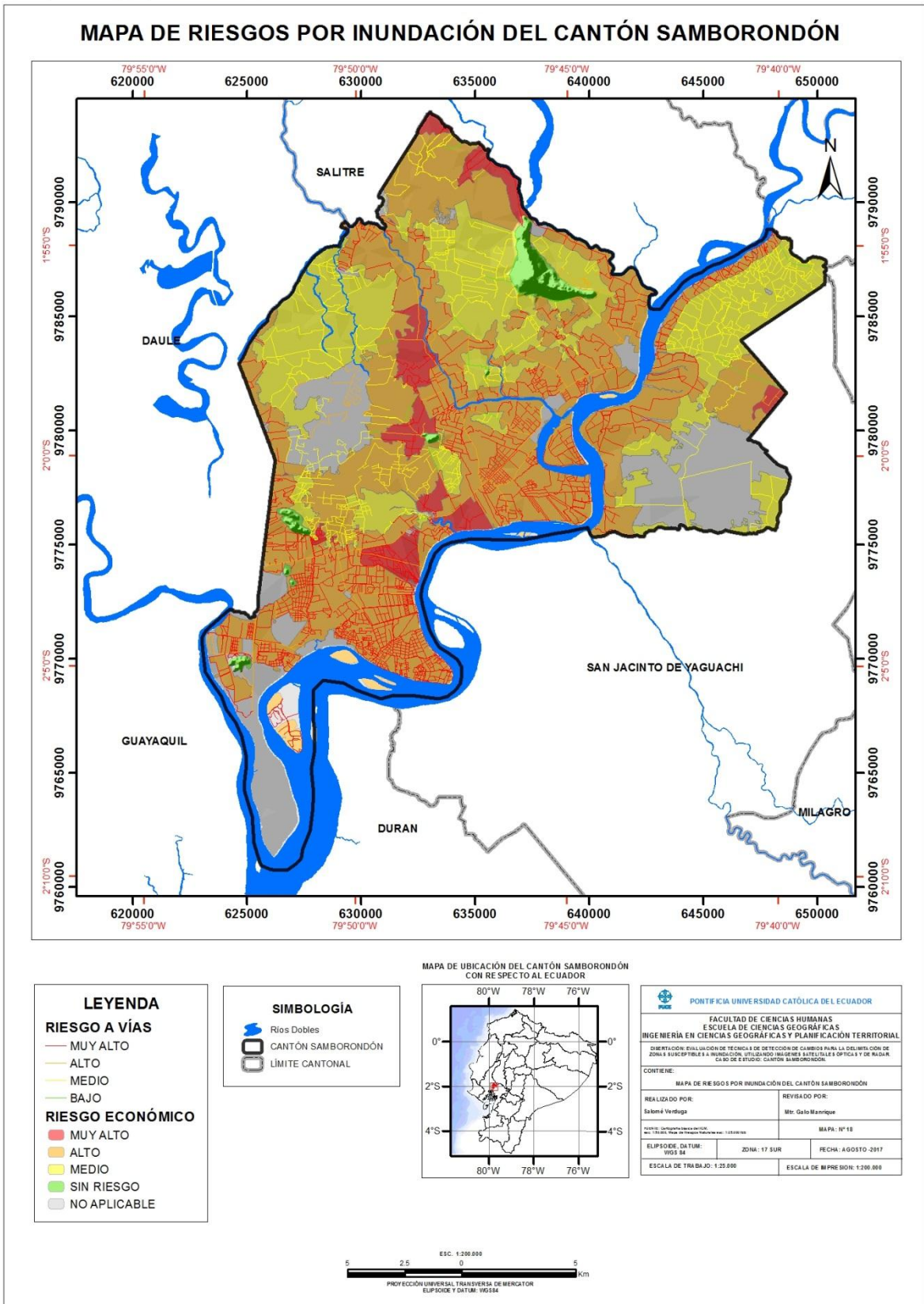
Anexo 17: Mapa de Vulnerabilidad por Inundación

17. Mapa de Vulnerabilidad por Inundación



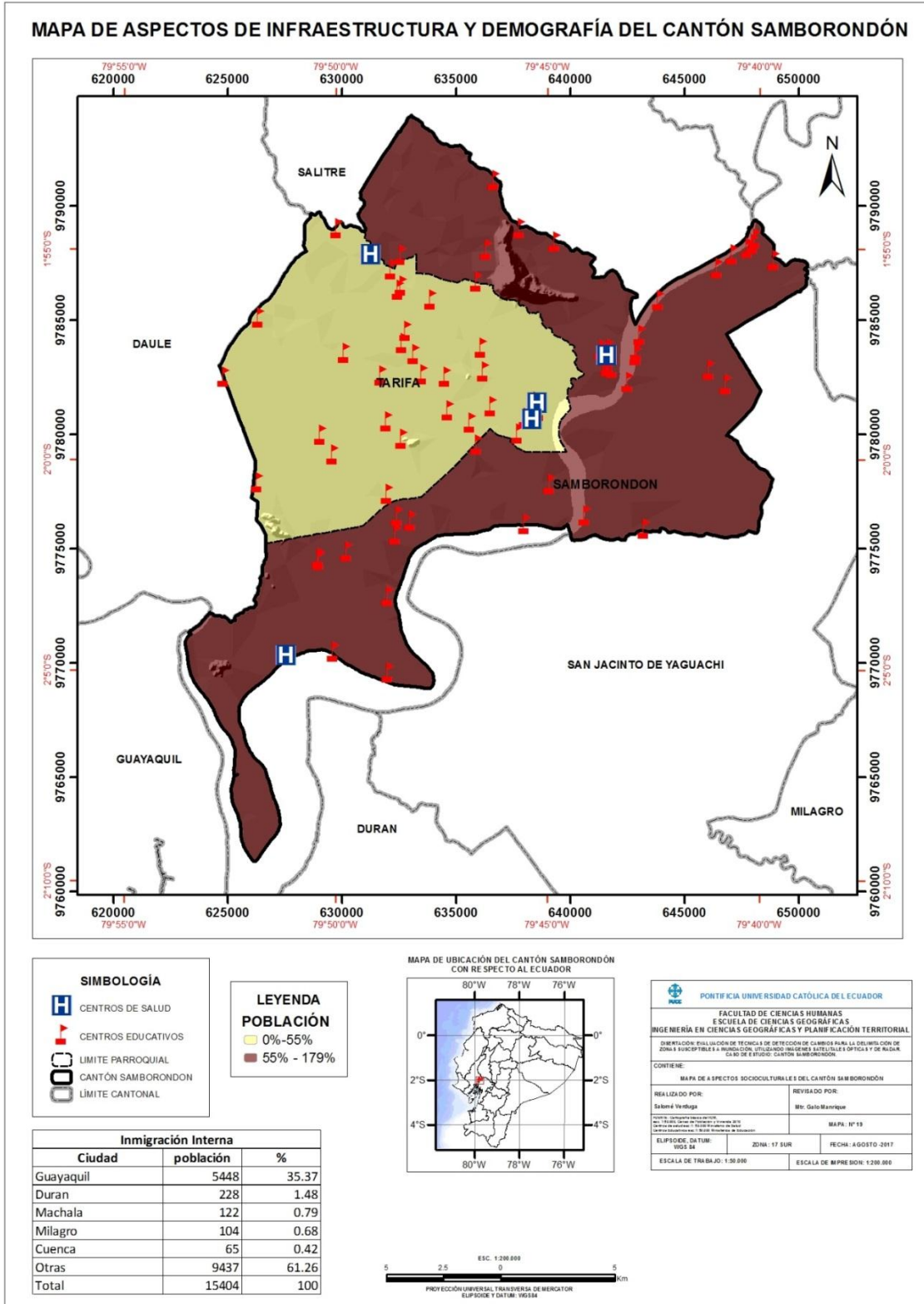
Anexo 18: Mapa de Riesgos por Inundación

18. Mapa de Riesgos por Inundaciones



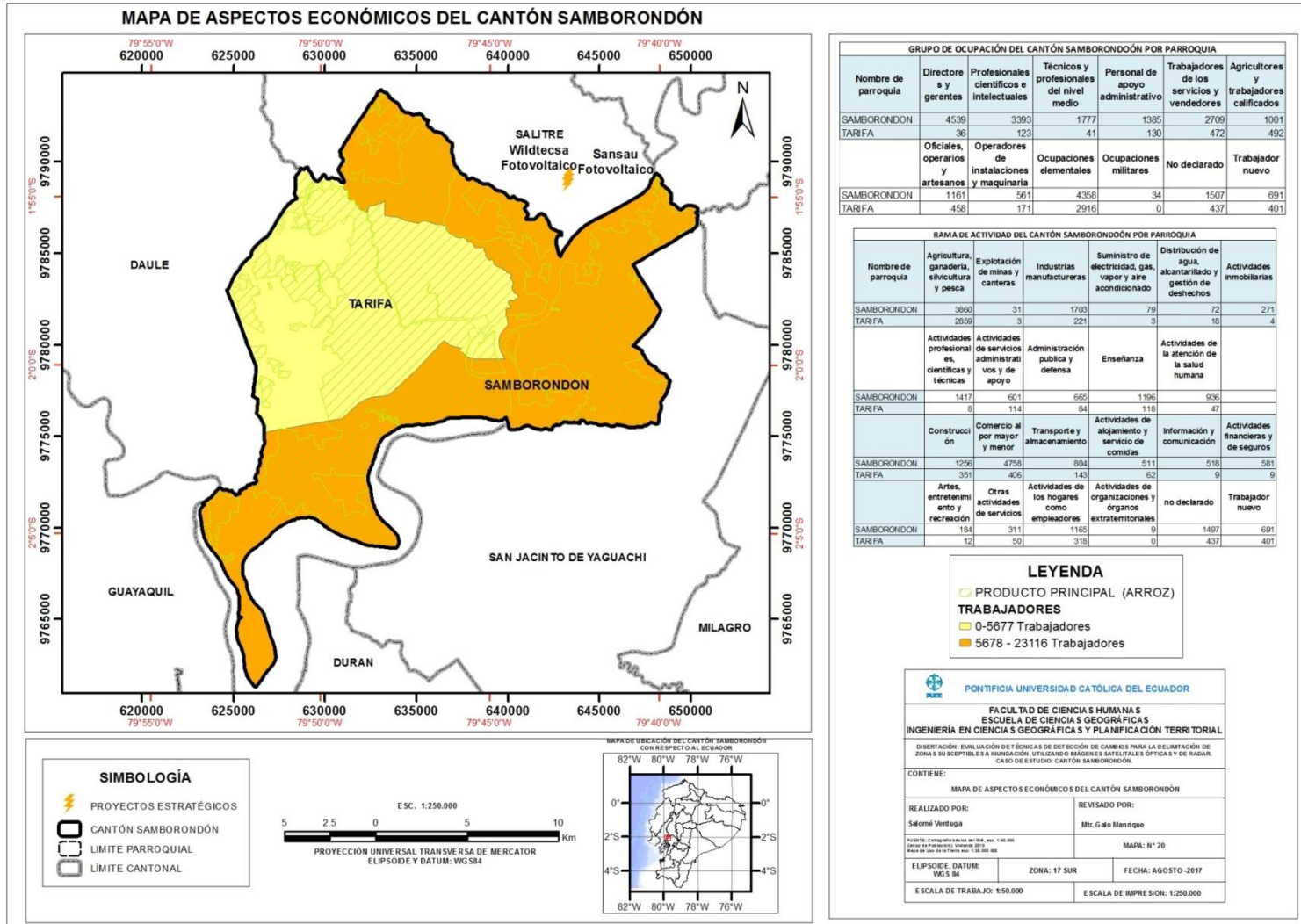
Anexo 19: Mapa de aspectos de Infraestructura y Demografía

19. Mapa de Aspectos de Infraestructura y Demografía



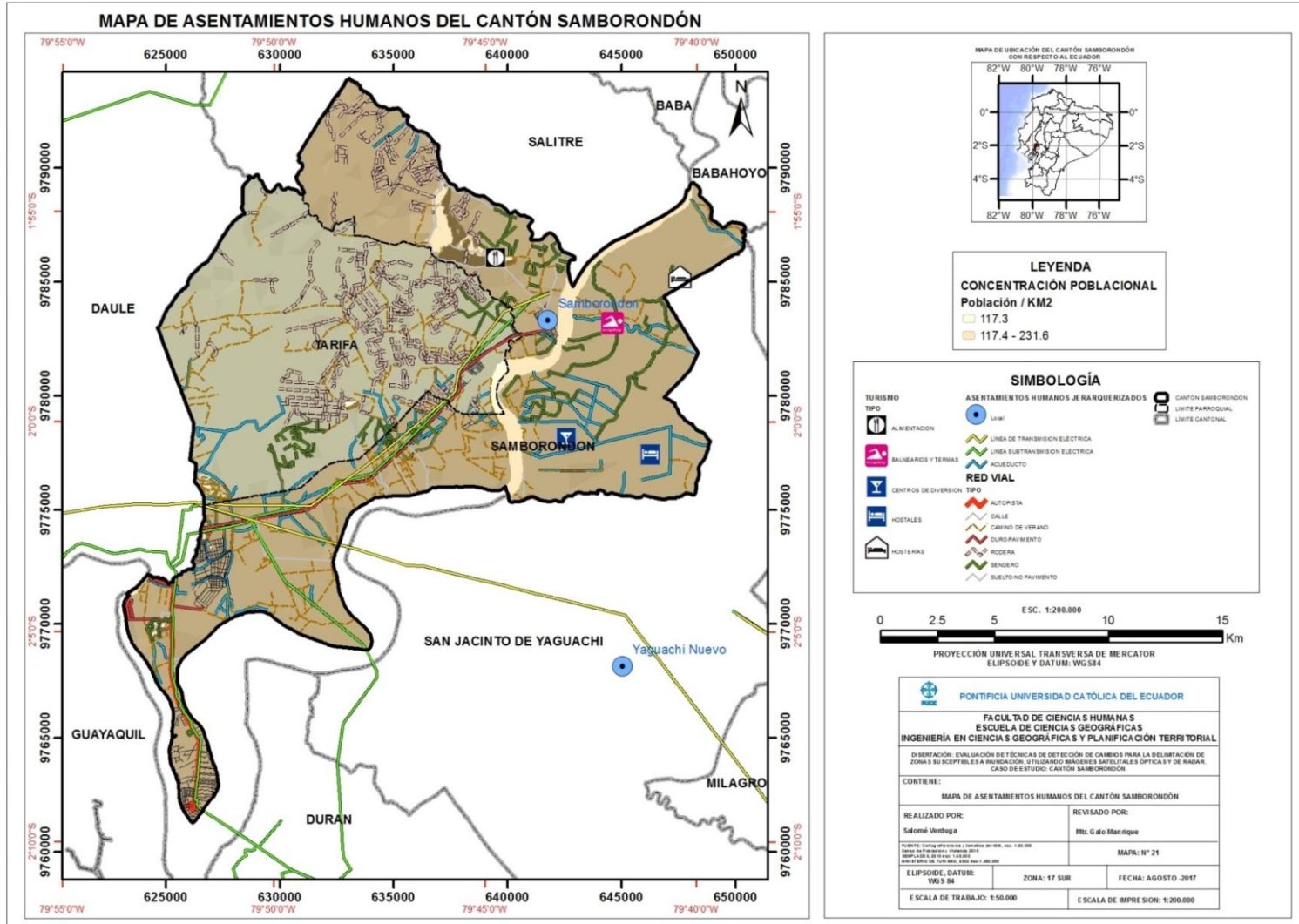
Anexo 20: Mapa de Aspectos Económicos

20. Mapa de Aspectos Económicos



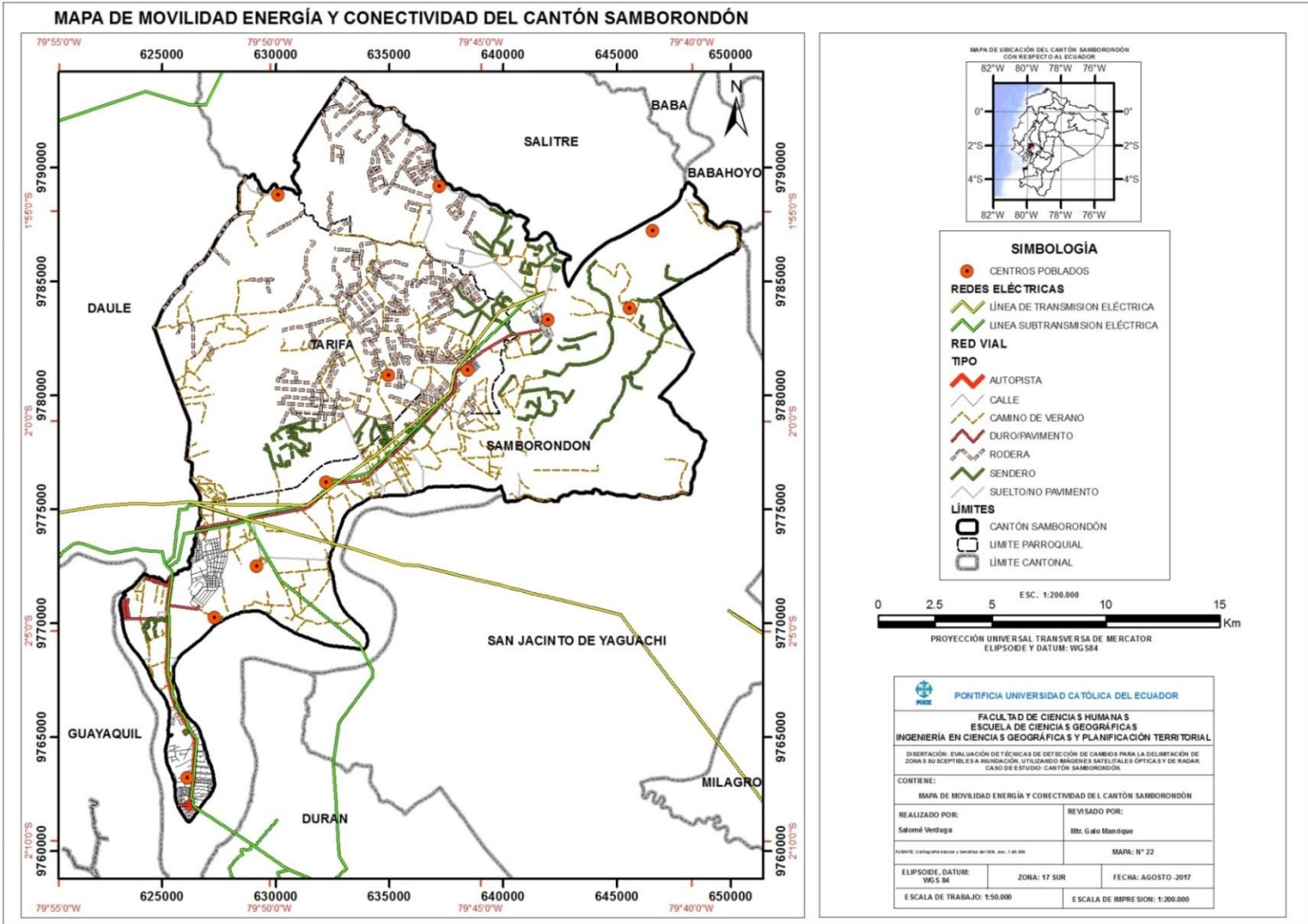
Anexo 21: Mapa de Asentamientos Humanos

21. Mapa de Asentamientos Humanos



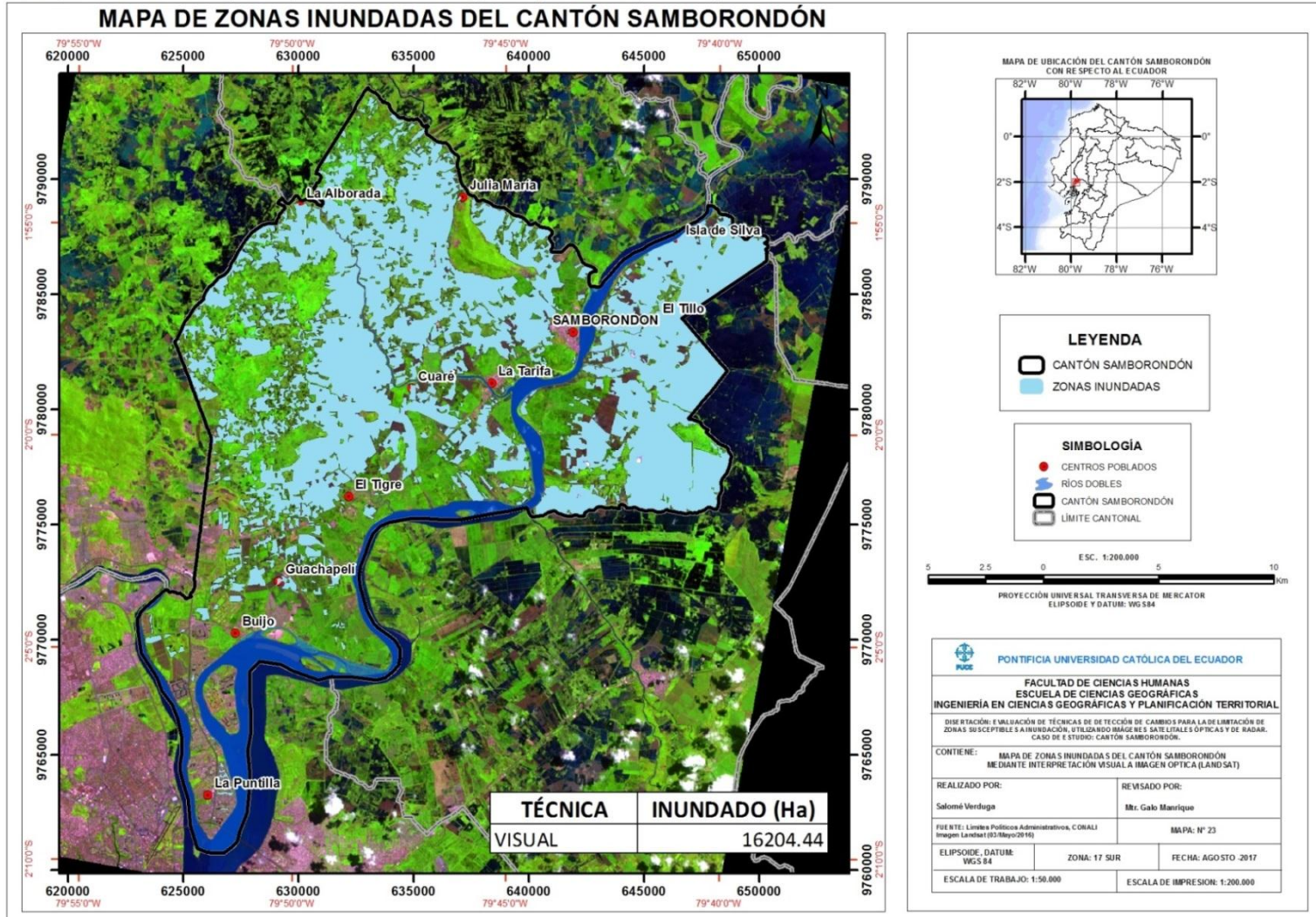
Anexo 22: Mapa de Movilidad, Energía y Conectividad

22. Mapa de Movilidad, Energía y Conectividad



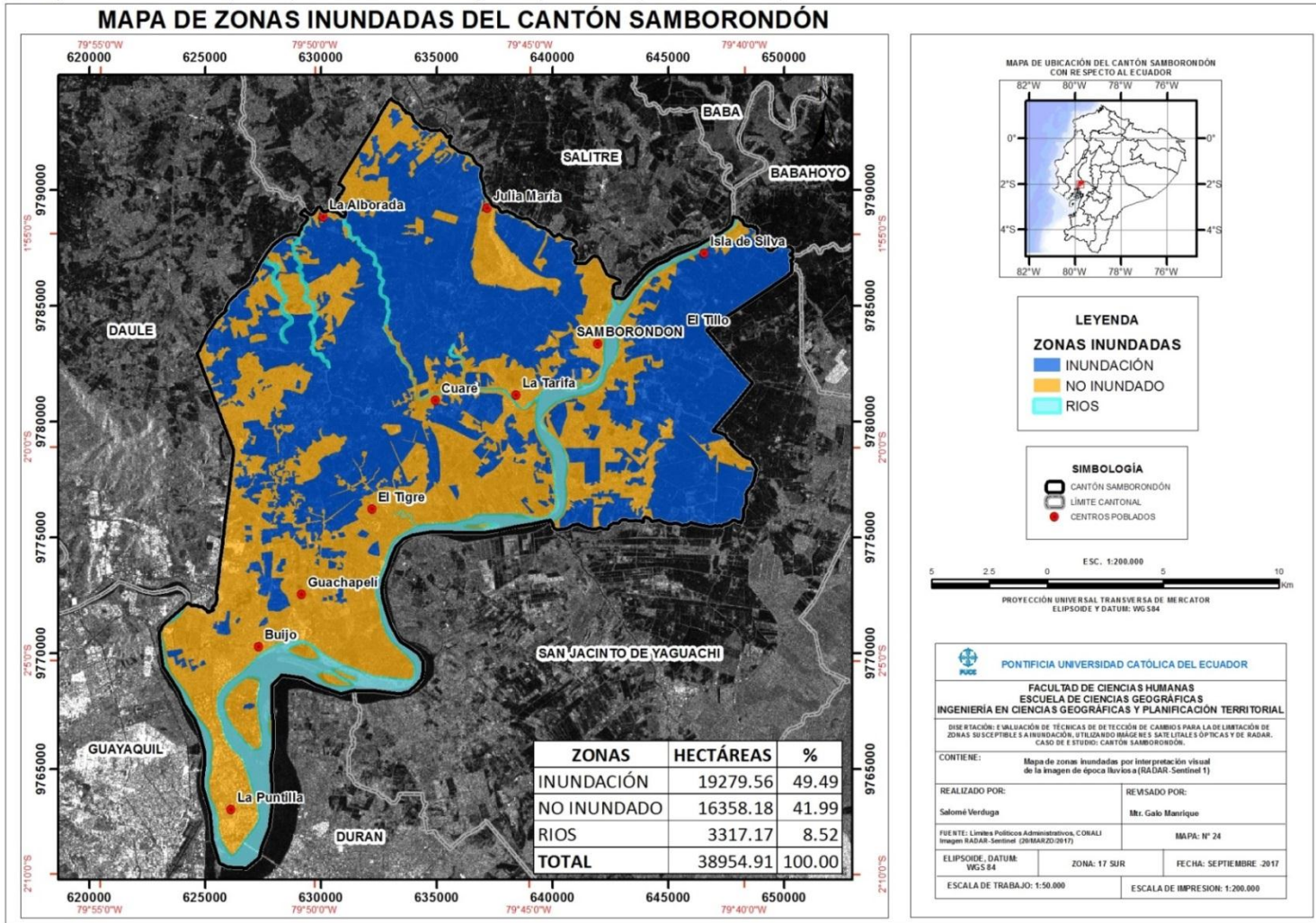
Anexo 23: Mapa zonas inundadas por interpretación visual de la imagen de época lluviosa (LANDSAT)

23. Mapa de zonas inundadas por interpretación visual de la imagen de época lluviosa (LANDSAT)



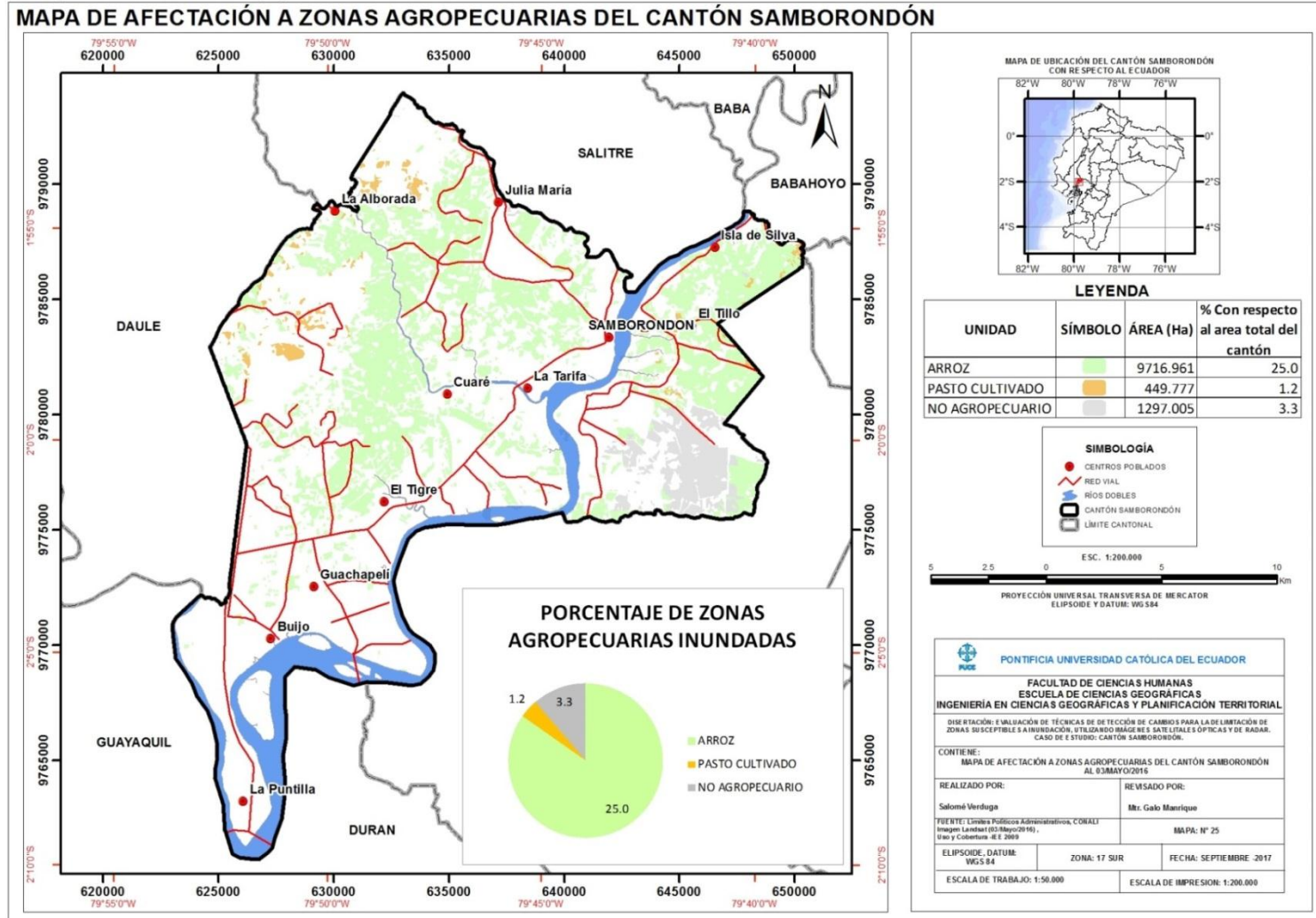
Anexo 24: Mapa de zonas inundadas por Interpretación visual de la imagen de época lluviosa (RADAR- Sentinel 1)

24. Mapa de zonas inundadas por interpretación visual de la imagen de época lluviosa (RADAR-Sentinel 1)



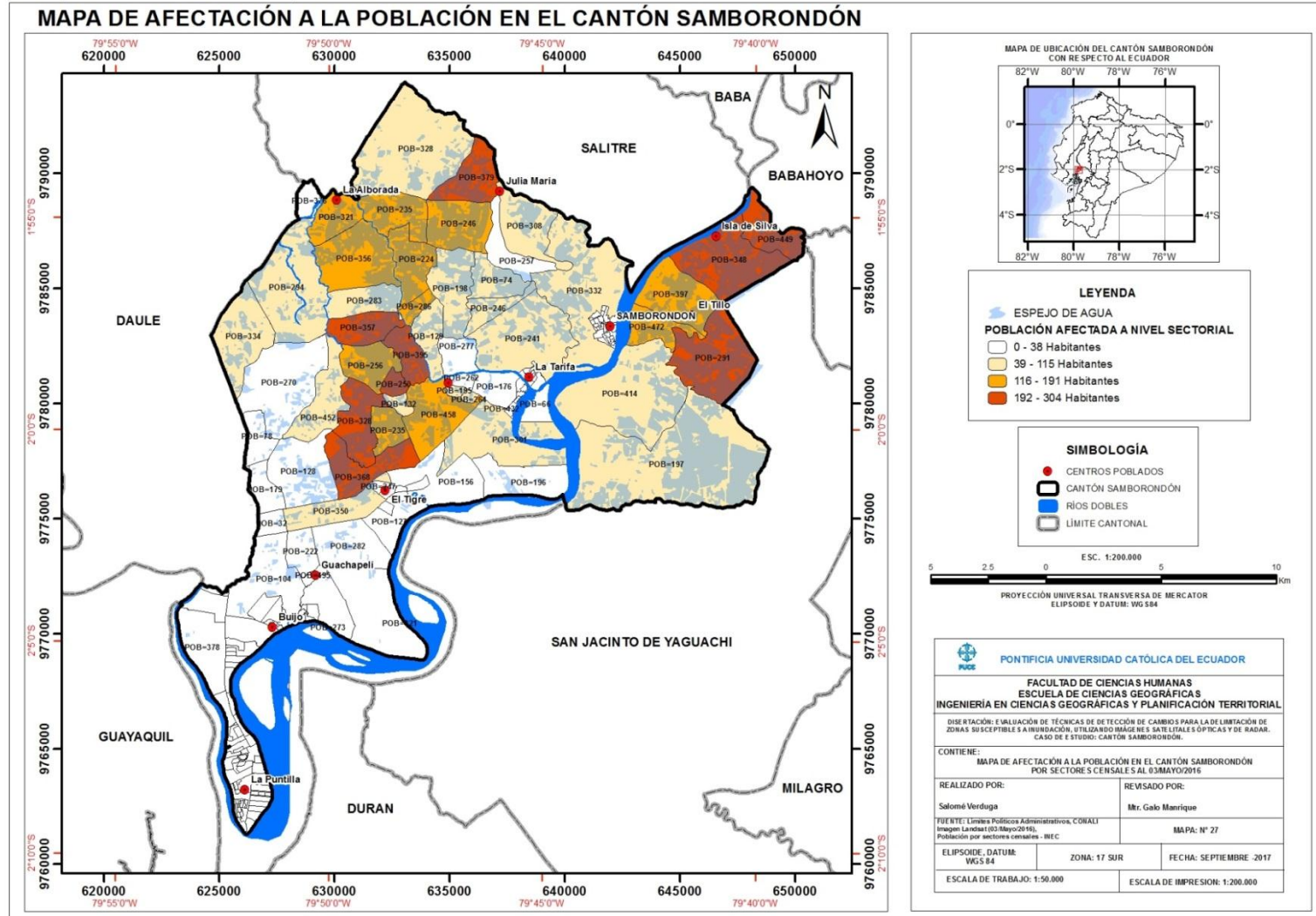
Anexo 25: Mapa de Afectación a Zonas Agropecuarias 03/MAYO/201

25. Mapa de Afectación a Zonas Agropecuarias 03/MAYO/2016



Anexo 27: Mapa de Afectación a la Población por sectores censales 03/MAYO/2016

27. Mapa de Afectación a la Población por sectores censales 03/MAYO/2016



Anexo 28: Mapa de Afectación a las viviendas por sectores censales 03/MAYO/2016

28. Mapa de Afectación a las Viviendas por sectores censales 03/MAYO/2016

