



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

**“Análisis de la variabilidad climática y el riesgo a inundaciones en la cuenca del río
Ozama, Santo Domingo, República Dominicana”**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE
en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

César Eugenio Belliard Sánchez

Turrialba, Costa Rica

2020

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

FIRMANTES:



William Jefferson Watler Reyes

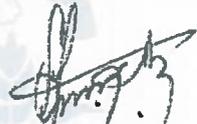
William Watler, M.Sc.

Director de tesis



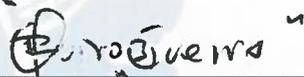
Francisco Jiménez, Dr.Sc.

Miembro Comité Consejero



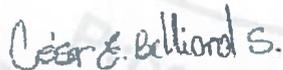
Sergio Velásquez, M.Sc.

Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.

Decano, Escuela de Posgrado



César Eugenio Belliard Sánchez

Candidato

DEDICATORIA

A mis padres, César Augusto Belliard Santana y María Jacqueline Sánchez,
por la formación recibida e impulso para seguir superándome.

A mi hermana, Samira Belliard y a mi abuela, Lorenza Cots,
por el soporte emocional y el amor brindado.

A mi hermana, Keila Belliard y a mi abuelo, Otilio Sánchez,
por sus bendiciones desde el cielo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía en todo momento y brindarme la claridad para cada decisión en mi vida.

Al Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología (MESCyT), por depositar en mi la responsabilidad de estudiar un máster en el extranjero.

A mi profesor consejero, M.Sc. William Watler, por su orientación, consejos y dedicación.

A los miembros de mi comité asesor de tesis, M. Sc. Sergio Velásquez, Dr. Francisco Jiménez, por el soporte brindado.

A las instituciones ONAMET, INDHRI y Defensa Civil, por brindarme apoyo en la etapa de recolección de información y trabajo de campo.

A mis compañeros de maestría, por su apoyo e intercambio de conocimientos en todo momento y a mis compañeros de promoción por los lindos momentos vividos.

Al CATIE, por brindarme la oportunidad de ser egresado de esa alta casa de estudio.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
LISTA DE ACRÓNIMOS	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación e importancia.....	3
2- LITERATURA CITADA.....	4
Artículo 1. Análisis de la variabilidad climática actual y escenarios de cambio climático futuro de la cuenca del río Ozama, Santo Domingo, República Dominicana.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. METODOLOGÍA.....	10
2.1 Área de estudio.....	10
2.2 Proceso metodológico	11
2.2.1 Recopilación de información	11
2.2.2 Análisis descriptivo de elementos del clima para observar el comportamiento meteorológico en la cuenca.....	12
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
3.1 Caracterización climática de la cuenca.....	14
3.2 Incremento y decremento (disminución) de la precipitación y la temperatura media	15
3.3 Índice de humedad	16
3.4 Análisis de tendencia al cambio.....	17
3.5 Índice estandarizado de precipitación (SPI).....	18
3.6 Escenarios de cambio climático	19
3.6.1 Escenarios climáticos de la precipitación anual y temperatura media para los RCP 4.5 y 8.5 (2021-2040).....	19
3.6.2 Escenarios climáticos para la temperatura media y precipitación anual para los RCP 4.5 y 8.5 (2041-2060).....	21
4. CONCLUSIONES.....	23
5. RECOMENDACIONES	24
6. LITERATURA CITADA.....	24
Artículo 2. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca del río Ozama, Santo Domingo, República Dominicana	27
1. INTRODUCCIÓN.....	29
2. METODOLOGÍA.....	30
2.1 Área de estudio.....	30
2.2 Proceso metodológico	31
2.2.1 Delimitación del tramo de estudio	31
2.2.2 Análisis estadísticos de caudales máximos.....	31

2.2.3 Modelación hidráulica para determinar áreas de inundación con ArcGis y HEC-RAS	31
2.2.3.1 Creación del esquema geométrico del río.....	32
2.2.3.2 Creación de la información hidráulica en HEC-RAS.....	33
2.2.3.3 Corrida del modelo	35
2.2.3.4 Limitaciones de la modelación hidráulica	36
2.2.4 Vulnerabilidad global ante inundación considerando indicadores biofísicos, sociales, económicos e institucionales.....	36
2.2.4.1 Recorrido del tramo en estudio.....	37
2.2.4.2 Metodología para vulnerabilidad global.....	37
2.2.4.3 Creación y validación de los indicadores de vulnerabilidad global	37
2.2.4.4 Taller para validación de indicadores	37
2.2.4.5 Protocolo de encuestas.....	40
2.2.4.6 Valoración, procesamiento y cálculo de índices	41
2.2.4.7 Mapas de vulnerabilidad.....	42
2.2.4.8 Limitaciones del análisis de vulnerabilidad global.....	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1 Modelación hidráulica.....	44
3.1.1 Selección de caudales	44
3.1.2 Creación de la geometría del tramo en ArcGis y exportación a HEC-RAS.....	44
3.1.3 Resultados de la modelación hidráulica HEC-RAS	45
3.1.4 Áreas de inundación según los diferentes periodos de retorno (25, 50, 100, 200).....	47
3.1.5 Planicies de inundación	47
3.2 Vulnerabilidad global.....	51
3.2.1 Análisis de cada tipo de vulnerabilidad	51
a) Vulnerabilidad física.....	51
b) Vulnerabilidad social.....	52
c) Vulnerabilidad ecológica	53
d) Vulnerabilidad económica.....	54
e) Vulnerabilidad política	55
f) Vulnerabilidad ideológica.....	56
g) Vulnerabilidad educativa.....	56
h) Vulnerabilidad técnica.....	57
i) Vulnerabilidad cultural.....	58
4. CONCLUSIONES.....	62
6. RECOMENDACIONES	63
7. LITERATURA CITADA	65

8. ANEXOS	73
-----------------	----

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Estaciones pluviométricas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca del río Ozama.....	12
Cuadro 2. Indicadores para evaluar los tipos de vulnerabilidad	38
Cuadro 3. Caracterización de cada vulnerabilidad.....	41
Cuadro 4. Caudales máximos seleccionados (1967-1982)	44
Cuadro 5. Caudales seleccionados para la modelación hidráulica.....	44
Cuadro 6. Niveles de agua de secciones a lo largo del perfil longitudinal	46
Cuadro 7. Velocidades, áreas y comunidades afectadas	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Ozama.....	11
Figura 2. Esquema metodológico del análisis de la variabilidad climática actual y escenarios de cambio climático futuro	14
Figura 3. Climogramas de las estaciones pluviométricas analizadas	15
Figura 4. Incrementos de precipitación estación Yamasá	16
Figura 5. Índice mensual de humedad de las estaciones pluviométrica analizadas	17
Figura 6. Representación mensual de la prueba de Mann-Kendall	18
Figura 7. SPI con escala temporal de 24 meses.....	19
Figura 8. Variación en la precipitación y temperatura media. Escenarios RCP 4.5 y 8.5 al 2040	20
Figura 9. Variación en la precipitación temperatura media. Escenarios RCP 4.5 y 8.5 al 2060	22
Figura 11. Geometría del río Ozama importada a HEC-RAS	33
Figura 12. Datos de las secciones transversales del tramo en estudio.....	34
Figura 13. Sección transversal de la estación 5230.2.....	34
Figura 14. Caudales seleccionados y periodos de retorno.....	35
Figura 15. Salida del programa al completar el análisis.....	36
Figura 16. Resumen del proceso metodológico para obtener la vulnerabilidad global. 43	
Figura 17. Geometría del río con perspectiva X-Y-Z en HEC-RAS.....	45
Figura 18. Perfiles de flujo según los diferentes periodos de retorno	46
Figura 19. Sección transversal 4266.24 con Tr 25, 50, 100 y 200 años.....	46
Figura 20. Amenaza a inundación para un Tr 25 años	48
Figura 21. Amenaza a inundación para un Tr 50 años	48
Figura 22. Amenaza a inundación para un Tr 100 años	49
Figura 23. Amenaza a inundación para un Tr 200 años	49
Figura 24. Resultado de vulnerabilidades evaluadas (%).....	60
Figura 25. Vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones sin ponderación de vulnerabilidades.....	61
Figura 26. Vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones con ponderación de vulnerabilidades	61

LISTA DE ACRÓNIMOS

ADMD	Asociación Dominicana de Mitigación de Desastres
COE	Centro de Operaciones de Emergencias
GEI	Gases de Efecto Invernadero
HEC	RAS- Hydrologic Engineering Center (HEC) - River Analysis System (RAS)
IGN	Instituto Geológico Nacional
INDRHI	Instituto Nacional de Recursos Hídricos
MED	Modelo de Elevación Digital
MIMARENA	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ONAMET	Oficina Nacional de Meteorología
RCPS	Escenarios de Trayectorias de Concentraciones Representativas
SIG	Sistema de Información Geográfica
USGS	United State Geological Survey

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Gráficos de incremento, disminución y tendencia de la precipitación y temperatura media	73
Anexo 2. Probabilidad de lluvias	105
Anexo 3. Parámetros utilizados para validar y valorar los indicadores de vulnerabilidad global ante inundaciones	111
Anexo 4. Protocolo de entrevista	115
Anexo 5. Calificación para cada indicador utilizado, según el tipo de vulnerabilidad	118
Anexo 6. Número de Manning	124
Anexo 7. Ingreso de caudales y pendiente del tramo	125
Anexo 8. Resultados de la corrida del modelo	126
Anexo 9. Tablas resumen según los diferentes periodos de retornos.....	126
Anexo 10. Gráficos aluviales, según las comunidades evaluadas.....	128

RESUMEN

La presente investigación fue realizada en la cuenca del río Ozama, ubicada entre las provincias de Santo Domingo (capital), Monte Plata y parte de San Cristóbal, República Dominicana. El primer objetivo consistió en realizar una caracterización climática, basados en datos histórico (1970-2018) de cuatro estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca, y la proyección futura del clima basadas en ocho modelos de circulación global y dos escenarios climáticos (Rcp 4.5 y 8.5). Para el análisis climático actual, se utilizó el software de datos climáticos mensuales Clic-MD y para el análisis futuro (escenarios 2021-2040 y 2041-2060) se utilizó RStudio, el cual consistió en procesar los rásteres obtenidos de la plataforma WorldClim v 2.1. El segundo objetivo era evaluar la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la parte baja de la cuenca. Para la determinación de la amenaza se utilizaron caudales máximos con diferentes periodos de retorno, el software aplicado para modelación hidráulica fue HEC-RAS, y para la evaluación de la vulnerabilidad se aplicó la metodología de Wilches-Chaux (vulnerabilidad global).

Los resultados indican que no existe una tendencia clara al aumento o a la disminución en la precipitación y en la temperatura actual, lo que sí se indica, es la presencia de cambios en la serie de los datos del clima (variabilidad climática). Los escenarios futuros al año 2040 indican que habría un aumento en la temperatura media de 1.1°C (RCP 4.5) y 1.2°C (RCP 8.5), mientras que para la precipitación se estima una disminución de 0.7% y 4.4% (RCP 4.5 y 8.5, respectivamente). Para el 2060, se tendría un aumento en la temperatura media de 1.6°C (RCP 4.5) y 2°C (RCP 8.5), mientras que la precipitación se reducirá en 6.4% y 10.7% (RCP 4.5 y 8.5, respectivamente). En relación con los resultados del modelado de inundación se pone de manifiesto que las comunidades Domingo Savio y Gualey presentan amenaza de inundaciones en la mayor parte de su extensión territorial tras la ocurrencia de un evento extremo. Así mismo, la parte baja de la cuenca presenta una vulnerabilidad global alta (67%) con indicadores críticos, como son el nivel de desempleo y capacitación en temas de prevención y mitigación de riesgo.

Palabras claves: variabilidad climática, escenarios futuros, modelos de circulación global, modelación hidráulica, vulnerabilidad global.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Ozama river basin, located between the provinces of Santo Domingo (capital), Monte Plata and part of San Cristóbal, Dominican Republic. The first objective consisted in carrying out a characterization of current climatic elements, based on historical data (1970-2018) from four pluviometric stations located within the basin, and future projection of the climate based on eight global circulation models and two climatic scenarios (Rcp 4.5 and 8.5). For the current climate analysis, the software for analysis of monthly climate data Clic-MD was used and for the future analysis (scenarios 2021-2040 and 2041-2060) RStudio was used, which consisted of cutting, processing and making comparisons of the rasters obtained from the WorldClim v 2.1 platform. As a second objective, the evaluation of the threat and vulnerability to floods in the lower part of the basin was carried out. To determine the threat, maximum flows with different return periods were used and the software applied for hydraulic modeling was HEC-RAS. The vulnerability analysis was carried out based on the Wilches-Chaux methodology (global vulnerability).

The results indicate that there is no clear tendency to increase or decrease in precipitation and temperature, what is indicated is the presence of changes in the series of climate data (climate variability). Future scenarios for the year 2040 indicate that there would be an increase in the mean temperature of 1.1°C (RCP 4.5) and 1.2°C (RCP 8.5), while, for precipitation, a decrease of 0.7% and 4.4% (RCP 4.5 and 8.5, respectively). By 2060, there would be an increase in the mean temperature of 1.6°C (RCP 4.5) and 2°C (RCP 8.5), while precipitation will be reduced by 6.4% and 10.7% (RCP 4.5 and 8.5, respectively). The results of the flood modeling show that the Domingo Savio and Gualey communities present a threat of flooding in most of their territorial extension after the occurrence of an extreme event. Likewise, the lower part of the basin presents a high global vulnerability (67%) with critical indicators such as the level of unemployment and training in risk prevention and mitigation issues.

Keywords: climate variability, future scenarios, global circulation models, hydraulic modeling, global vulnerability.

1. INTRODUCCIÓN

El calentamiento de la superficie terrestre es una realidad que va en aumento, se ha observado un calentamiento en la atmósfera y océanos, aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, niveles del mar más elevados, volúmenes de hielo reducidos produciendo derretimiento de casquetes polares. Es evidente que el clima de la Tierra está cambiando (IPCC-WGI 2007; IPCC 2013). Por ejemplo, Magrin (2015) afirma que existe una reducción gradual de la precipitación en Centroamérica y un aumento de 0.5 a 3°C en la temperatura media entre 1901 y 2012, concluyendo que se han observado cambios significativos en América Latina y el Caribe durante las últimas décadas.

Los aumentos del nivel del mar proyectados, la variabilidad climática y los eventos extremos muy probablemente afectarán las zonas costeras (Magrin et al. 2007). El calentamiento en América Latina para finales del siglo, de acuerdo con diferentes modelos, será de 1 a 4°C para los escenarios de emisiones B2 y de 2 a 6°C para el escenario A2. En el horizonte 2020, entre 7 y 77 millones de personas sufrirán por estrés hídrico debido al cambio climático (IPCC-WGI 2007). Los riesgos transversales productos del cambio climático derivados de episodios extremos, como olas de calor, precipitación extrema e inundaciones, ya alcanzan niveles entre moderados (nivel de confianza alto) y altos, en caso de producirse un calentamiento adicional de 1°C (nivel de confianza medio) (Kissel et al. 2014).

Los huracanes han incrementado su frecuencia y severidad en el norte de América Latina y el Caribe, afectando severamente a la región caribeña, México y a Centroamérica (Aguilar 2005; Glenn et al. 2015). El evento del clima más importante, por su variabilidad, en América Latina es El Niño- Oscilación del Sur (ENOS), debido a que ha causado grandes impactos económicos y sociales (Conde-Álvarez et al. 2007). El Fenómeno del Niño se dejó sentir con bastante fuerza en el Caribe y la República Dominicana desde principios de 2015 hasta principios o mediados de 2016. Este ha sido hasta la fecha uno de los periodos del Niño que más duro ha golpeado este país (Roosevelt 2018). Según la Organización del Sector Pesquero del Istmo Centroamericano (SICA), la actividad pesquera se redujo alrededor del 25% en la región caribeña (Martínez 2017, El Universo 2016). Unos 6.2 millones de personas en el Caribe, especialmente en Haití, República Dominicana y Cuba fueron afectados por esta sequía (Caraballo 2016). Los niveles de las represas disminuyeron a 314 m cuando el mínimo establecido es de 320 m, el Gran Santo Domingo presentó un déficit de agua de 122 millones de galones; luego de esta sequía ocurrieron intensos aguaceros que generaron pérdidas de más de RD\$ 20,000 millones, 13 fallecidos, 8 de estos menores de edad (Aquino 2019).

Según los puntos críticos de vulnerabilidad al cambio climático, en República Dominicana el 40% (13) de las provincias presentan niveles de vulnerabilidad que varían desde alta a muy alta (Michela Izzo et al. 2012). Los escenarios futuros para el clima muestran que las provincias de la región sur y oeste del país presentarán aumentos en la

temperatura entre 1 y 3°C hacia el 2050, y podrían alcanzar valores entre 2 y 6°C hacia el 2070, mientras que las precipitaciones podrían disminuir sustancialmente un 15% en todo el territorio nacional hacia el 2050, agravándose a un 17% al 2070 (Tercera Comunicación Nacional para la República Dominicana realizada por el Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), TCNCC 2016). La temporada de lluvias (mayo-noviembre) podría presentar un aumento súbito en la precipitación total acumulada produciendo mayor probabilidad de inundaciones, mientras que, el periodo de sequías (diciembre-abril) podría ser más intensos (MIMARENA 2016).

Grandes fenómenos hidrometeorológicos asociados con el agua, ya sea en abundancia produciendo inundaciones o en déficit produciendo sequías, han azotado la isla de Santo Domingo. El exceso de precipitación ha producido inundaciones, dentro de las más catastrófica se pueden encontrar: 1) El ciclón George (1998), entró por el Este de la isla, provocando destrucciones de viviendas en la zona, siendo este, uno de los huracanes más recordados por los dominicanos. Las elevadas precipitaciones (409 mm) en la Cordillera Central provocaron el desbordamiento del río Sabaneta y la muerte de más de 1000 personas. Este ciclón de categoría tres provocó olas de casi cuatro metros de altura, murieron 347 personas y 595 resultaron heridas (Vásquez et al. 2013). 2) Las tormentas Noel y Olga (2007), el 28 de octubre y 11 de diciembre, respectivamente, fueron los fenómenos hidrometeorológicos que más afectaron al país; los daños ocasionados por ambas tormentas ascendieron a más de RD\$14,500 millones, siendo el sector agropecuario el más impactado, con pérdidas valoradas en más de RD\$5,500 millones (Diario Libre 2009; Listín Diario 2018). La tormenta Noel alcanzó vientos sostenidos de casi 64 km/h con una velocidad menor a los 97 km/h, 73 personas murieron, 43 los desaparecidos, la caída de puentes provocadas por las crecidas de ríos provocó el aislamiento de 39 comunidades de la región Sur. La tormenta Olga dejó 14 muertos en la República Dominicana, alrededor de 34,480 personas damnificadas, daños en 6,896 casas y 76 poblados incomunicados. La provincia más afectada fue Santiago, por el desfogue inusitado de la Presa de Tavera (INDHRI 2017).

La cuenca hidrográfica del río Ozama alrededor del 24% de su área superficial es afectada por inundaciones, principalmente en la parte media y baja. Según el historial de inundaciones (MIMARENA 2019), las áreas más afectadas se encuentran en los municipios de Monte Plata influenciado por las crecidas del río Savita, Santo Domingo Norte por río Ozama, Bayaguana por el río Yabacao, Pedro Brand por el río Isabela y Yamasá por el río Ozama. En el periodo 1966 al 2000 han ocurrido un total de 62 eventos asociados con inundaciones, ocasionando la muerte de 58 personas, 15 desaparecidos, 13 heridos, alrededor de 356,308 personas evacuadas, unas 225 personas damnificadas y 470 viviendas afectadas (DesInventar 2019).

1.1 Justificación e importancia

Una inundación ocurre cuando el cauce del río contiene mayor cantidad de agua de la que soporta en condiciones naturales. Esto produce su desbordamiento, en algunos casos, por exceso de lluvia en periodos relativamente cortos de tiempos, en otros por desfogue de represas (Lavell 2001). Sumado a esto, en una urbanización mal planificada, las escorrentías en superficiales impermeables como cemento y asfalto, que no logran percolar en los suelos naturales o que no logran acceder a sistemas eficientes de drenaje pluvial, condición propia de zonas urbanas, contribuye a incrementar la vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones (Jha et al.2012).

Según el historial eventos climáticos más de 100 tormentas tropicales (1871-2008) y 54 huracanes (1504-2008) han impactado directamente en la República Dominicana. Las eventualidades ocurridas han provocado daños tanto a la población como al medio ambiente y a la economía del país (Batista et al. 2015). Por ejemplo, el huracán San Zenón, ocurrido en septiembre de 1930, ocasionó 4500 muertes, 20000 heridos y pérdidas valoradas en 20 millones de dólares; así mismo, el huracán George en 1998 ocasionó pérdidas directas de 1,337 millones de dólares y 664.5 millones de dólares en pérdidas indirectas (CEPAL 1998; Gutiérrez et al. 1999).

Todas las eventualidades ocurridas colocan la República Dominicana entre los 10 países más vulnerables al cambio climático según el Índice de Riesgo Climático global (IRC). Este pronostica el aumento de frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos extremos producto del cambio climático global (Eckstein et al. 2017). Según el IDDI (2009), el 46% de las inundaciones ocurridas entre 1966-2000 se concentraron en zonas urbanas del Distrito Nacional, varias ciudades de la región norte (Puerto Plata, Santiago, La Vega y Bonaó).

Las problemáticas que ocurren en la parte baja de la cuenca, producto de acciones realizadas en la parte media y alta (deforestación, contaminación, urbanización e industrialización) (Acosta 2015) ocasionando que los caudales máximos aumenten, el tiempo de concentración disminuya y se incremente el riesgo de la población expuesta, una población que va en constante crecimiento (1.8% por año) (Toro et al. 2010). Conociendo el comportamiento climático, hidrológico e hidráulico y el grado de vulnerabilidad de la población dentro la cuenca, se pueden tomar las medidas más apropiadas para la reducción y mitigación del riesgo (Sifontes et al. 2012).

La ocurrencia de inundaciones es una problemática que no se puede resolver a corto plazo, es algo que puede ocurrir repentinamente y si no se está preparado, las consecuencias pueden ser fatales (Roth 2015). Con la presente investigación se pretende aportar información acerca de caudales máximos en la zona de estudio, relacionándola con las áreas de inundaciones para con diferentes periodos de retorno. Con base en estos resultados se realiza una proyección futura para conocer las máximas áreas de desbordamiento. Lo anterior es complementado con un análisis de vulnerabilidad global con base en entrevistas realizada a actores clave. Asimismo, se aportan datos de tendencia

del cambio del clima en la cuenca, áreas de inundaciones mapeadas, áreas del nivel de vulnerabilidad global, medidas de mitigación y prevención de riesgo en el tramo de estudio. Los resultados serán de utilidad a los tomadores de decisiones, ya que aporta información necesaria para la realización de un plan de prevención contra inundaciones, así como también para el desarrollo de planes de sistema alerta temprana (SAT) ante la ocurrencia de inundaciones, asimismo sirve de línea base para las actividades de planificación urbana y ordenamiento territorial.

2- LITERATURA CITADA

- Acosta, R. 2015. Recuperación paisajista y ambiental de las riberas del río Ozama Santo Domingo, República Dominicana.
- Aguilar, E; Peterson, T; Obando, PR; Frutos, R; Retana, JA; Solera, M; Soley, J; García, IG; Araujo, R; Santos, AR. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110(D23):
- Aquino, M. 2019. Sequías de 1997, 2015 y la actual, las más extremas en el país *Diario Libre Santo Domingo*, República Dominicana 11 marzo 2019: Consultado 26 julio 2019.
- Batista García, FdJ. 2015. Consideración de los huracanes en el diseño de las estructuras en la República Dominicana. Tesis Caminos.
- Caraballo, J. 2016. Sequía causó pérdidas en 2015 a más de 6.2 millones de personas en Haití, República Dominicana y Cuba. *Listín Diario Santo Domingo*, República Dominicana 27 mayo 2016: Consultado el 26 Julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/economia/sequia-causo-perdidas-en-2015-a-mas-de-6-2-millones-de-personas-en-haiti-republica-dominicana-y-cuba-KG3833972>
- CEPAL. 1998. Ciudades intermedias de América Latina y el Caribe: propuestas para la gestión urbana.
- CEPAL. 1998. Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Georges: Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25344/LCmexL365_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Conde-Álvarez, C; Saldaña-Zorrilla, S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación *Ambiente y desarrollo* 23(2):23-30.
- DesInventar. 2019. Sistema de Inventario de Desastres 1996-2000 ed. Colombia.
- Diario, L. 2018. Olga y Noel, los fenómenos más dañinos en la última década en RD *Listín Diario*, Santo Domingo, República Dominicana 12 septiembre 2018: Consultado el 26 julio 2019. Disponible en <https://listindiario.com/la-republica/2018/09/12/532786/olga-y-noel-los-fenomenos-mas-daninos-en-la-ultima-decada-en-rd>

- Eckstein, D; Künzel, V; Schäfer, L. 2017. Global climate risk index 2018 Germanwatch, Bonn.
- Estrada Sifontes, V; Pacheco Moya, RM. 2012. Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y ambiental* 33(1):71-80.
- Gutiérrez Pérez, G; Cocco Quezada, A. 1999. El huracán Georges en la República Dominicana: Efectos y lecciones aprendidas: Disponible en <http://cidbimena.desastres.hn/ri-hn/pdf/spa/doc12138/doc12138-contenido.pdf>
- Glenn, E; Comarazamy, D; González, JE; Smith, T. 2015. Detection of recent regional sea surface temperature warming in the Caribbean and surrounding region *Geophysical Research Letters* 42(16):6785-6792.
- IDDI. 2009. Diagnóstico Socioeconómico y Ambiental. Área de Intervención del Distrito Nacional: Consultado el 18 septiembre 2019. Disponible en <http://www.climaccion.org/wp-content/uploads/2017/11/Diagnostico-socioeconomico-y-ambiental-a%C2%A6%C3%BCrea-de-intervencio%C2%A6%C3%BCn-Distrito-nacional.pdf>
- INDRHI, INDRH. 2017. Plan de Manejo y Adecuación Ambiental (PMAA) para las Obras de Rehabilitación de las Presas de Chacuey, Maguaca, Tavera y Mijo, y mejora de los Sistemas de Riego: Consultado el 15 June 2019. Disponible en <http://economia.gob.do/agua/wp-content/uploads/drive/Documento4.pdf>
- IPCC. 2013. Cambio Climático 2013: Las Bases de la ciencia física. Afirmaciones principales del Resumen para responsables de políticas.
- IPCC-WGI. 2007. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007 The Physical Science Basis.
- Jha, A; Bloch, R; Lamond, J. 2012. Ciudades e inundaciones.
- Kissel, ES; Mastrandrea, MD; Mastrandrea, PR; White, LL; Genova, RC; Field, CB; Chatterjee, M; Ebi, KL; Moreno, JM; Girma, B. 2014. CAMBIO CLIMÁTICO: 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad.
- Lavell, A. 2001. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición. *Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS* 4:1-22.
- Libre, D. 2009. Daños de las tormentas Olga y Noel afectaron el crecimiento económico. *Diario Libre*, Santo Domingo, República Dominicana 20 agosto 2009: Consultado el 26 Julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/actualidad/daos-de-las-tormentas-olga-y-noel-afectaron-el-crecimiento-econmico-DL212274>
- Magrin, G, C; Gay García, D; Cruz Choque, J.C; Giménez, A.R; Moreno, G.J; Nagy, C; Nobre and A. Villamizar. 2007. Latin America. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson Cambridge University Press, Cambridge, UK:580-615.
- Magrin, G.O; Marengo, J.A; Boulanger, J.P; Buckeridge, M.S; Castellanos, E; Poveda, G; Scarano, F.R and S. Vicuña. 2014. Central and South America. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*.

- Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY: 1499-1566.
- Martínez, R; Zambrano, E; Nieto, JJ; Hernández, J; Costa, F. 2017. Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina Investigaciones Geográficas (68):65-78.
- Michela Izzo, LR; David Arias Rodríguez - IDDI-CLIMACCION/Fundación Plenitud. 2012. Puntos Críticos para la Vulnerabilidad a la Variabilidad y Cambio Climático en la República Dominicana y su Adaptación al mismo Programa para la Protección Ambiental. Acuerdo de Cooperación No. 517-A-00-09-00106-00:8-10. Consultado el 5 abril 2019. Disponible en http://acento.com.do/wp-content/uploads/Resumen_Ejecutivo-paraimpresion_21.jun.12.pdf
- MIMARENA. 2016. Plan Nacional de Adaptación para el Cambio Climático en La República Dominicana 2015-2030: Consultado el 6 mayo 2019. Disponible en <http://www.fundacionplenitud.org/files/PNACC.pdf>
- Romina Vásquez, LfV. 2013. Ciclones históricos. Diario Libre, República Dominicana. Consultado el 8 junio 2019. Disponible en <http://especiales.diariolibre.com/temporadaciclonica/historicos.php>
- Roosevelt, O. 2018. Fenómeno del Niño. Disponible en <https://www.meteorologiard.org/2018/04/fenomeno-el-nino-y-sus-consecuencias.html>
- Roth, M. 2015. Everyone Must Be Prepared For Emergencies. Consultado el 04 septiembre 2019. Disponible en <https://choosework.ssa.gov/blog/everyone-must-be-prepared-for-emergencies>
- TCNCCMDL/MA/PNUD/FMAM. 2016. Evaluación de Vulnerabilidad y Medidas de Adaptación al Cambio Climático en los Sectores Agua Potable, Riego y Agricultura. Sistematización y Análisis de la Vulnerabilidad y Adaptación de los Recursos Hídricos” para la Tercera Comunicación Nacional de la República Dominicana (TCNCC).
- Toro, JIB; Higueta, CV; Vásquez, MS; Toro, EMT; González, EV. 2010. Santo Domingo Savio: un territorio reterritorializado (22).

Artículo 1. Análisis de la variabilidad climática actual y escenarios de cambio climático futuro de la cuenca del río Ozama, Santo Domingo, República Dominicana

César Eugenio Belliard Sánchez

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Cesar.belliard@catie.ac.cr

Resumen

Se analiza la variabilidad del clima mediante la caracterización del comportamiento de la precipitación y temperatura mensual de la cuenca del río Ozama con la finalidad de conocer el comportamiento climático de la cuenca. Se describen incrementos y disminución de los elementos climáticos evaluados, índice de humedad, probabilidad de lluvia y comportamiento de la tendencia al cambio mediante la prueba de Mann-Kendall, con el software para análisis de datos climáticos mensuales Clic-MD. Se analizaron cuatro estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del río Ozama, con datos desde el año 1970 hasta el 2018. Para describir el comportamiento futuro de los componentes climáticos de la cuenca, se consideraron los datos de ocho modelos de circulación global (MCG) con dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5) para un primer periodo (2021-2040) y un segundo periodo (2041-2060) con datos de la plataforma WorldClim v2.1 lanzada en enero del 2020. Los análisis indican que no existe un cambio significativo en la precipitación y temperatura, lo que significa que los cambios en las variables climáticas no son propios de cambio climático, sino más bien de la interacción y combinación de la variabilidad climática y de otros eventos que afectan la zona de estudio, tales como la ubicación en la ruta de ocurrencia de grandes fenómenos hidrometeorológicos regionales, la ocurrencia del fenómeno El Niño y los vientos alisios. Sin embargo, según los RCP evaluados, se pronostica que para el 2040, la temperatura media de la cuenca del río Ozama, aumentará 1.1°C (RCP 4.5) y 1.2°C (RCP 8.5), tanto para la provincia de Santo Domingo como Monte Plata. Por su parte, la precipitación disminuirá un 0.7% (RCP 4.5) y un 4.4% (RCP 8.5) en ambas provincias. Al 2060 se pronostica que la temperatura media aumentará 1.6°C en la provincia de Santo Domingo y 1.7°C en Monte Plata (RCP 4.5) y con 2°C para ambas provincias con el escenario RCP 8.5. La precipitación disminuirá un 6.4% para Santo Domingo y un 6.3% para Monte Plata de acuerdo con el RCP 4.5 y disminuirá 4.5% y 10.7%, respectivamente, según el RCP 8.5.

Palabras claves: variabilidad climática, cambio climático, escenarios climáticos, modelos de circulación global, RCP.

Abstract

Climate variability is analyzed by characterizing the behavior of precipitation and monthly temperature of the Ozama river basin to know the climatic behavior of the basin. Increases and decreases of the climatic elements evaluated are described; humidity index, probability of rain and behavior of the trend to change using the Mann-Kendall test, with the software for analysis of monthly climatic data Clic-MD. Four meteorological stations located within the Ozama River basin were analyzed with data from 1970 to 2018. To describe the future behavior of the climatic components of the basin, data from eight global circulation models (GCM) were analyzed with two climate change scenarios (RCP 4.5 and 8.5) for a first period (2021-2040) and a second period (2041-2060) with data from the WorldClim v2.1 platform launched in January 2020. The analyzes indicate that, no there is a significant change in precipitation and temperature, which means that changes in climate variables are not typical of climate change, but rather of the interaction and combination of climate variability and other events that affect the study area, such as the location on the route of occurrence of large regional hydrometeorological phenomena, the occurrence of the El Niño phenomenon and the trade winds. However, according to the RCP evaluated, it is predicted that by 2040 the average temperature of the Ozama river basin will increase 1.1 ° C (RCP 4.5) and 1.2 ° C (RCP 8.5), both for the province of Santo Domingo and Monte Silver. Meanwhile, precipitation will decrease by 0.7% (RCP 4.5) and 4.4% (RCP 8.5) in both provinces. By 2060, the mean temperature is forecast to increase 1.6 ° C in the province of Santo Domingo and 1.7 ° C in Monte Plata (RCP 4.5) and with 2 ° C for both provinces with the RCP 8.5 scenario. Precipitation will decrease 6.4% for Santo Domingo and 6.3% for Monte Plata according to RCP 4.5 and will decrease 4.5% and 10.7%, respectively, according to RCP 8.5.

Keywords: climate variability, climate change, climate scenarios, global circulation models, RCP.

1. INTRODUCCIÓN

Es una realidad que el clima está cambiando. Los cambios en el clima no son nuevos, estos han ocurrido gradualmente en la historia de la tierra, los cuales dependen de la ubicación geográfica y la atmosfera (CIIFEN 2020). La atmósfera se define como el tipo y cantidad de gases que rodean un planeta (Garduño 2004). En la atmósfera de la tierra existen varios gases, dentro de estos se encuentran los gases de efecto invernadero (H_2O , CO_2 , N_2O , CH_4 , O_3), que ayudan a conservar una temperatura adecuada para la existencia de la vida y permite atrapar la energía solar para mantener una temperatura de la Tierra (Samaniego 2009).

Debido a diferentes actividades humanas, tales como: la industrialización, tala indiscriminada de bosques, malas prácticas agrícolas y ganaderas, se ha aumentado las emisiones de gases de efecto invernadero, alterando nuestra atmósfera y provocando cambio en el clima (OMS 2009; IPCC 2013). Este cambio en el clima afecta la variabilidad climática provocando fenómenos como temperaturas más altas, sequías más prolongadas e inundaciones más intensas (SEMARNAT 2006).

Aunque los efectos del cambio climático son globales, los daños se producen a escala local. Esto se evidencia con el caso de República Dominicana que, aunque solo aporta poca cantidad (0.1%) de las emisiones de gases del efecto invernadero, es el onceavo país más vulnerable a los efectos de cambio y variabilidad climáticos (USAID 2017). Debidos al cambio en el clima los fenómenos de la variabilidad climática se han intensificados (Vincenti et al. 2012). En República Dominicana se relaciona la variabilidad climática con el fenómeno ENOS y vientos alisios (Glenn et al. 2015).

El software clic-MD, a pesar ser un nuevo en el mercado, se ha utilizado en estudios relacionados con la variabilidad climática e índices agroclimáticos en Latinoamérica, específicamente en México, por la manera en la que su interfaz maneja grandes cantidades de datos suministrados y la representación gráfica de sus resultados (Montiel-González 2019). La variación de la precipitación y temperatura podría tener efectos en la intensidad de inundaciones repentinas y un ciclo hidrológico más intensificado. Según 12 estaciones pluviométricas analizadas en el periodo (1984-2013) la precipitación no muestra un patrón claramente definido de cambio, mientras que la temperatura muestra una tendencia al aumento de 1 a 3°C en todo el país. También se produjeron escenarios de cambio climático para toda República Dominicana donde se afirma que la precipitación disminuirá entre que la precipitación total anual disminuirá un 15% al 2050 y un 17% hacia el 2070 en todo el territorio nacional (MIMARENA 2016).

Aunque se ha investigado acerca de la variabilidad climática a nivel global, a escala de cuencas hidrográficas existen pocas investigaciones relacionadas a la problemática. El objetivo del estudio es realizar una caracterización de las condiciones climáticas con el propósito de observar su comportamiento histórico a escala puntual (estaciones meteorológicas), así como también estimar el comportamiento futuro, según

los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero relacionados con la precipitación y temperatura. Los resultados del estudio sirven para la toma de decisiones acerca de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en la cuenca del río Ozama, así como también, en el análisis del riesgo a inundaciones.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

La cuenca del río Ozama abarca 6 microcuencas comprendidas en gran parte por la provincia Santo Domingo (69.7%), en los municipios Santo Domingo Norte, Santo Domingo Este, San Antonio de Guerra, Pedro Brand, Los Alcarrizos y el Distrito Nacional. En la provincia Monte Plata abarca grandes áreas (70.9%) de los municipios de Yamasá, Bayaguana, Sabana Grande de Boyá, Peralvillo y del municipio de Monte Plata cabecera de la provincia. En la provincia San Cristóbal comprende una pequeña porción (2.5%) del municipio Villa Altagracia. La cuenca se encuentra localizada geográficamente en las coordenadas 18°58', 18°23' latitud Norte y 70°16', 69°24' longitud Oeste.

Limita al norte con las cuencas del río Yuna y Barracote, al sur con el mar Caribe, al este con la cuenca de los ríos Higuamo, Brujuela y la cuenca costera de Cabo Caucedo, y al oeste con la cuenca del río Haina. La cuenca del río Ozama tiene una superficie de 2,847.6 km² y el cauce principal una longitud de 148 km. Tiene una topografía que varía de plana a accidentada, con una altitud mínima del nivel del mar y máxima de 850 m.s.n.m. La precipitación sigue un patrón de lluvia de 1,000 a 2,000 mm anuales, el cual se incrementa en la zona de montaña. La temperatura media anual oscila entre 23 a 24°C con una evapotranspiración potencial estimada en un 20% menor que la precipitación media total anual (MIMARENA 2019) (Figura 1).



Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del río Ozama

2.2 Proceso metodológico

El proceso metodológico propuesto para analizar la variabilidad climática de cuenca del río Ozama, se separó en dos etapas consecutivas: la primera, consiste en el análisis histórico de los elementos climáticos de cuatro estaciones pluviométricas ubicadas dentro de la cuenca; la segunda etapa, analiza los datos futuros de precipitación y temperatura, según escenarios de emisiones 4.5 y 8.5. La figura 2 esquematiza el proceso metodológico desarrollado.

2.2.1 Recopilación de información

Para la información meteorológica se utilizaron los datos de las estaciones pluviométricas que cuenta ONAMET dentro de la cuenca; estas estaciones son: Santo Domingo, Yamasá, La Victoria y Bayaguana. Se realizó la solicitud, al departamento de climatología aplicada del ONAMET, de datos diarios de precipitación y de temperatura media tanto máxima como mínima, estos insumos sirvieron para caracterizar el clima de la cuenca. Se realizó un control de calidad de la información, evaluando que no existieran datos negativos o valores muy elevados en cada estación de análisis. Se codificaron las estaciones con su respectiva localización y altura para luego, ingresarlas al software Clic-MD (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estaciones pluviométricas utilizadas para la caracterización climática de la cuenca del río Ozama

Código	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Provincia
BAY	Bayaguana	N184530	W683820	61	MONTE PLATA
SD	Santo Domingo	N182835	W695236	14	DISTRITO NACIONAL
VIC	La Victoria	N183525	W695030	12	SANTO DOMINGO NORTE
YAM	Yamasá	N184635	W700115	69	MONTE PLATA

2.2.2 Análisis descriptivo de elementos del clima para observar el comportamiento meteorológico en la cuenca

Se utilizó el software Clic-MD para el análisis descriptivo del clima, por su manera ordenada y práctica de manejar, almacenar y procesar miles de datos de climas de estaciones meteorológicas. Además, su facilidad de revisar la congruencia de los datos, hacer correcciones de estos, cálculo de evapotranspiración, índices agroclimáticos, climogramas y la representación gráfica de sus resultados. Lo anteriormente descrito facilita la interpretación de los resultados. Es un software reciente y ha sido utilizado especialmente en México y Costa Rica, para observar tendencias de cambio y/o variaciones en el clima e índices agroclimáticos (Bautista et al. 2019; Montiel-González 2019; Gómez et al. 2019; Ortega et al. 2019).

A continuación, se detalla el proceso metodológico aplicado:

- **Descarga del programa**

Clic-MD es un programa de pago con licencia económica para estudiantes y una prueba de 15 días gratis. Este se descargó en el siguiente enlace: <https://www.actswithscience.com/e-shop/?lang=en>

- **Suministro de datos**

- Estaciones meteorológicas con código de referencia, preferiblemente de tres letras para los estados y dos o tres números para los municipios, latitud, longitud y altitud.
- Precipitación total en mm, temperatura máxima, media y mínima en °C.
- Revisión de datos por estación meteorológica: asegurando que no existan precipitaciones con valores extremos, y que las temperaturas mínimas se encuentren por debajo de las demás temperaturas y las temperaturas altas por encima.

- **Cálculo de evapotranspiración potencial**

Se utilizaron dos métodos para el cálculo de la evapotranspiración: el primero, método de Hargreaves, el cual basado en la latitud y longitud suministrada al programa, este calcula la radiación solar extraterrestre (Ra) y las horas de sol por defecto, tomando en cuenta la temperatura máxima, media y mínima, luego procede a calcular la evapotranspiración; el segundo método es el modelo Thornthwaite (1948), el cual tiene la limitante de que solo utiliza la temperatura media por mes y el número máximo de horas sol para el mismo cálculo.

- **Cálculo de los índices agroclimáticos**

- **Índice de humedad (HUi):** se utilizó para clasificar los meses y años según la humedad del lugar. Aunque también es útil para prever las necesidades de drenaje artificial en una zona. La escala de valoración del índice va desde subhúmedo seco (0.05) hasta hiperhúmedo (2).
- **Índice de concentración de las precipitaciones (PCi):** se utilizó para estimar la agresividad de las lluvias a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, expresado en porcentajes (%).
- **Índice modificado de Fournier (MFi):** se utilizó para estimar la erosividad de las lluvias (factor R) en el proceso de erosión en suelos, su escala es anual y va desde muy bajo (0) hasta muy alto (160).

- **Análisis de escenarios de cambio climático**

-Se descargaron los datos históricos de precipitación y temperatura, así como también, los datos futuro de ocho MCG (BCC-CSM2-MR, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, CanESM5, GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MIROC-ES2L, MIROC6, MRI-ESM2-0), que propone WorldClim en su mas reciente versión (v2.1), para dos periodos seleccionados con los RCP 4.5 y 8.5.

-Luego, se procedió al corte de los rasters para la zona de estudio.

-Con base en una diferencia del valor de los pixeles, se determinó el aumento o disminución de la temperatura, asimismo, con la diferencia porcentual, se determinó la disminución o bien el aumento de la precipitación para cada periodo y RCP.

A continuacion se muestra esquematicamente el proceso metodologico desarrollado:

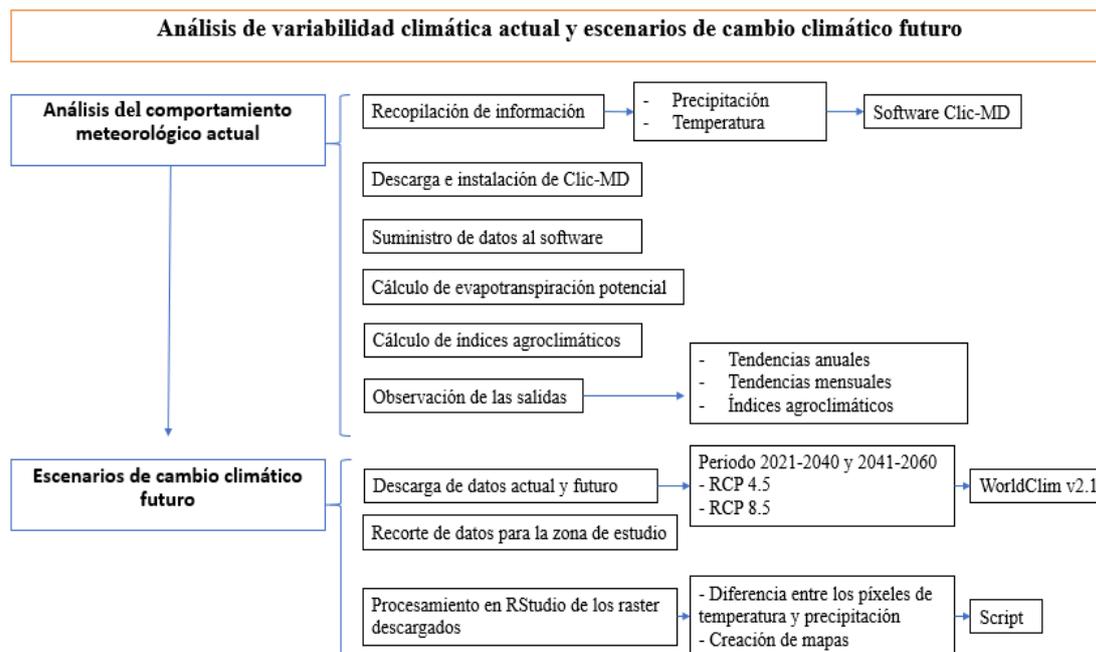


Figura 2. Esquema metodológico del análisis de la variabilidad climática actual y escenarios de cambio climático futuro

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización climática de la cuenca

La cuenca del río Ozama tiene una temperatura máxima promedio que oscila entre 29.6 y 33.2°C, una temperatura media entre 24.3 y 27.9°C, una mínima que oscila entre 19.1 y 23.7°C y una precipitación media mensual de entre 53.3 y 287.7 mm. Se evidencia que la temporada lluviosa está marcada desde mayo hasta noviembre y que la temporada seca desde diciembre a abril. Estas características son propias de casi toda República Dominicana, debido a sus condiciones climáticas propias por su ubicación geográfica (ONAMET 2020).

En los climogramas de cada estación pluviométrica (Figura 3) se presentan de manera gráfica la temperatura media mensual en grados Celcius (eje y izquierdo), los promedios mensuales de la precipitación en mm (eje y derecho) y en el eje x los meses del año. Así mismo, se presenta la evapotranspiración potencial en mm/mes duplicando el valor correspondiente a cada mes en la columna de precipitación. Los meses desde mayo hasta noviembre son los más lluviosos mientras que, los meses desde diciembre hasta abril, son los menos lluviosos. La temperatura comienza a incrementarse en el mes de abril, lo mismo sucede con la evapotranspiración. Por lo que se concluye que la evapotranspiración es proporcional al aumento de la temperatura. Se puede notar que la temporada seca es la que posee valores menores en cuanto a la evapotranspiración, lo cual

puede deber a las estaciones invierno y verano que, aunque no son tan marcadas en la zona, no pasan desapercibidas.

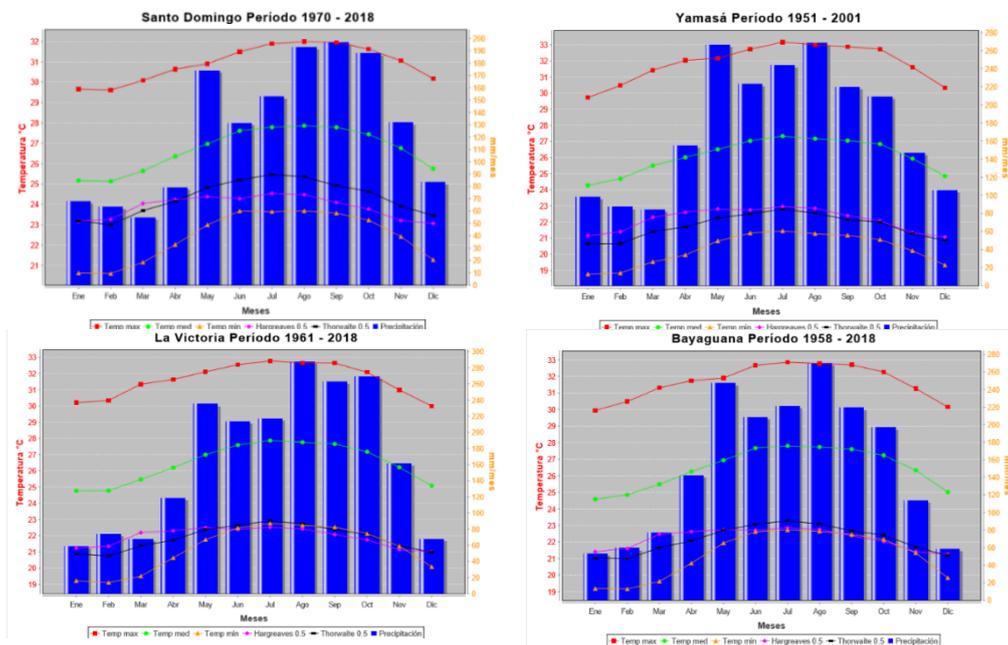


Figura 3. Climogramas de las estaciones pluviométricas analizadas

3.2 Incremento y decremento (disminución) de la precipitación y la temperatura media

La cuenca del río Ozama presenta incrementos en la precipitación de hasta 820 mm por encima del promedio mensual, el mismo fue registrado en la estación Yamasá en el año 1963 (Figura 4). Este incremento fue causado por el huracán Edith, de categoría dos, con vientos máximos de 50 kph. También ha presentado disminución en la precipitación de hasta 260 mm por debajo del promedio mensual; el mismo fue registrado en la estación Santo Domingo en el año 1991 (Anexo 1.1). En relación con la temperatura media, la cuenca ha manifestado incrementos de hasta 2.9°C por encima del promedio mensual registrado en la estación Yamasá en el año 1975 y disminuciones de hasta 2.5°C por debajo de promedio mensual registrado en las estaciones Bayaguana en el año 1975 y Yamasá en el año 1966 (Anexo 1.A-D). En relación con la tendencia al aumento o disminución, la precipitación muestra variaciones hasta trimestrales de aumento y luego una disminución de esta, lo mismo sucede con la temperatura media. Por ende, no se observa una tendencia clara al aumento o disminución de los elementos climáticos evaluados (Anexo 1.E-H). Aunque a escala local no se muestra tendencia de aumento en la precipitación y de la temperatura para República Dominicana, en general, se ha observado un aumento en la temperatura promedio anual de alrededor de 0.45°C desde el

año 1960, a una tasa promedio de 0.1°C por década (McSweeney et al. 2007). Herrera-Moreno (2013) pronostica que para el 2060 el aumento será de 1.4°C .

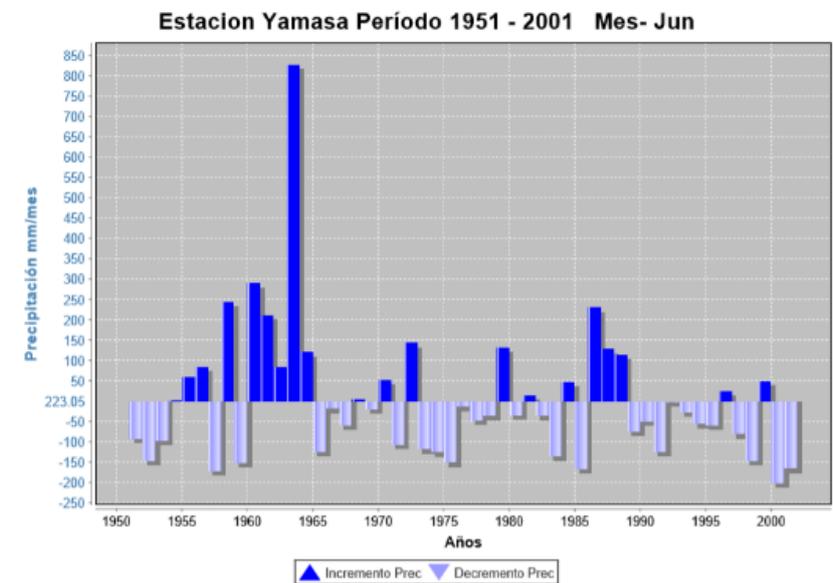


Figura 4. Incrementos de precipitación estación Yamasá

3.3 Índice de humedad

Los índices de humedad mensual de las estaciones analizadas (Figura 5), muestran que los meses desde mayo hasta diciembre son los meses en los que existe gran disponibilidad de agua, por ende, son clasificados como meses húmedos ($H_{ui} > 0.65$). Se muestran que los meses desde enero hasta abril son caracterizados como secos ($H_{ui} < 0.65$) (Moyano et al. 2005).

Se evidencia que la humedad de la cuenca del río Ozama está influenciada por la temporada de lluvia, siendo el mes de agosto el más lluvioso y también el más húmedo. También, por la temporada seca, siendo el mes de mayo el menos lluvioso y el más seco. La relación antes mencionada, es directamente proporcional a la probabilidad de lluvia, donde los meses más húmedos son los meses en los cuales la probabilidad de que llueva es mayor, el mes más probable que llueva al menos 50 mm es agosto el mes de agosto (Anexo 2).

Este índice indica la tendencia de los meses húmedos siendo estos los meses más probables de que ocurra una inundación, que en zonas urbanas ocurren repentinamente debido a la cantidad e intensidad de las precipitaciones con corta duración (Ramírez-Cerpa et al. 2017). Estos resultados coinciden con el listado obtenido de huracanes, tormentas y depresiones tropicales que han afectado a Santo Domingo (directa o indirectamente) desde 1950 hasta 2011, donde el 73.3% de las eventualidades ocurridas fueron entre los meses agosto y septiembre. De los eventos más recordados por los

habitantes debido al gran impacto que causaron en su momento se encuentran: El huracán David (agosto, año 1979) categoría 5 con vientos máximos de hasta 222 kph; el huracán George (septiembre, año 1998) categoría 3 con una precipitación de 409.3 mm (ONAMET 2020).

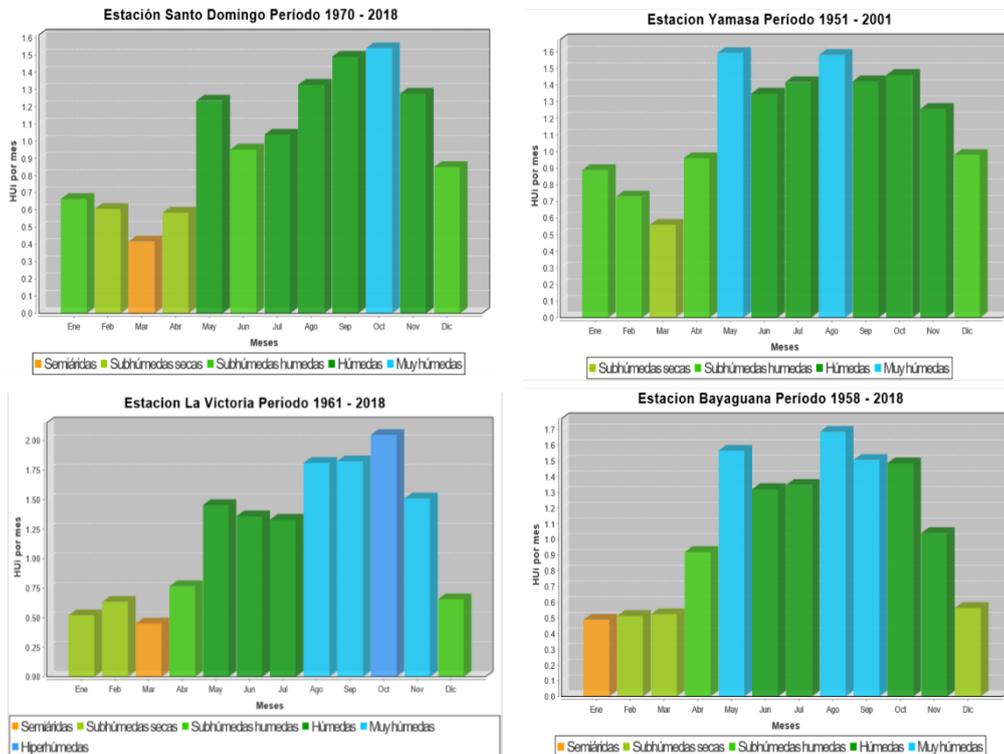


Figura 5. Índice mensual de humedad de las estaciones pluviométrica analizadas

3.4 Análisis de tendencia al cambio

De acuerdo con la prueba de Mann-Kendall para la variable precipitación no existe significancia estadística en la serie de datos evaluados, contrario para la temperatura donde se observan valores positivos por encima del valor de referencia 1.96, lo que indican una tendencia ascendente en algunos casos y valores negativos por debajo del valor de referencia que indica una tendencia descendente, por lo tanto, no existe una tendencia clara al aumento o disminución de estas variables meteorológicas (Figura 6).

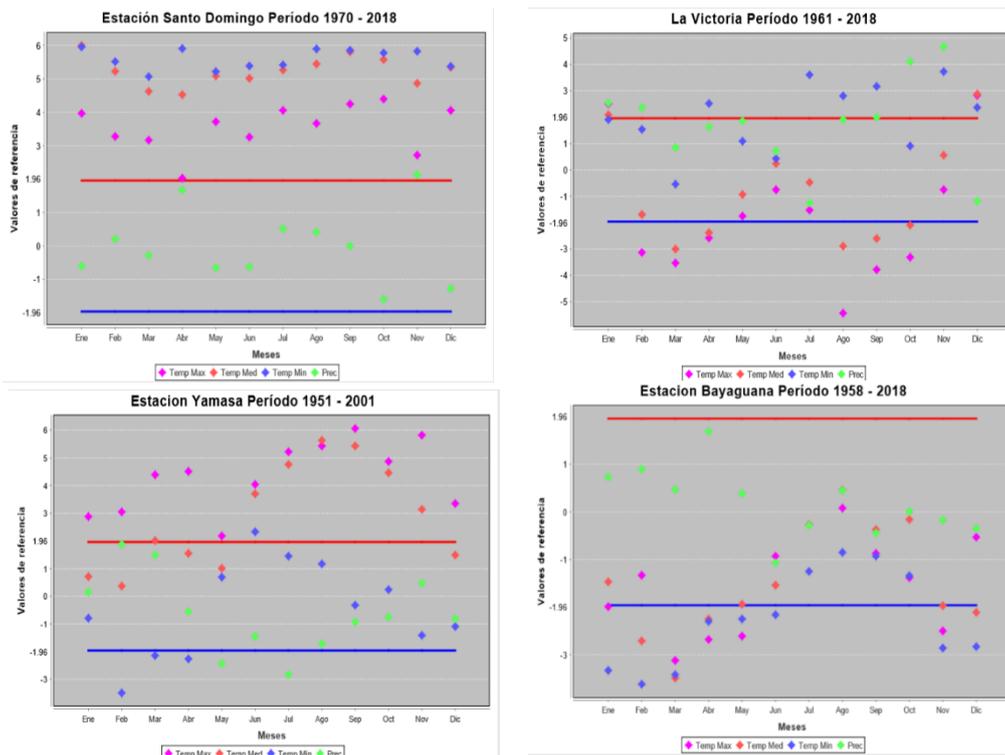


Figura 6. Representación mensual de la prueba de Mann-Kendall

3.5 Índice estandarizado de precipitación (SPI)

El SPI muestra periodos muy húmedos de hasta cuatro años y periodos severamente secos de hasta tres años consecutivos. No se observan condiciones extremas tanto húmedas como secas, pero se observan años húmedos y secos alternados (Figura 7), lo que da indicios a asociar la variabilidad climática de la cuenca del río Ozama con el fenómeno El Niño, donde cada cierto tiempo sus períodos que pueden variar de 3 a 7 años (Deschamps 2017). Se observan patrones de sequía en los 1997 y 2015 correspondiente a las sequías más pronunciadas que han afectado al país en su historial. Las inundaciones ocurridas están ligadas con el fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENOS), el cual cambia los patrones de lluvia tropical y de temperatura (Cayado 2017). Diversos autores coinciden en que el cambio climático podría afectar el fenómeno El Niño Oscilación Sur (Marticorena 1999; Rueda 2002; García 2012).

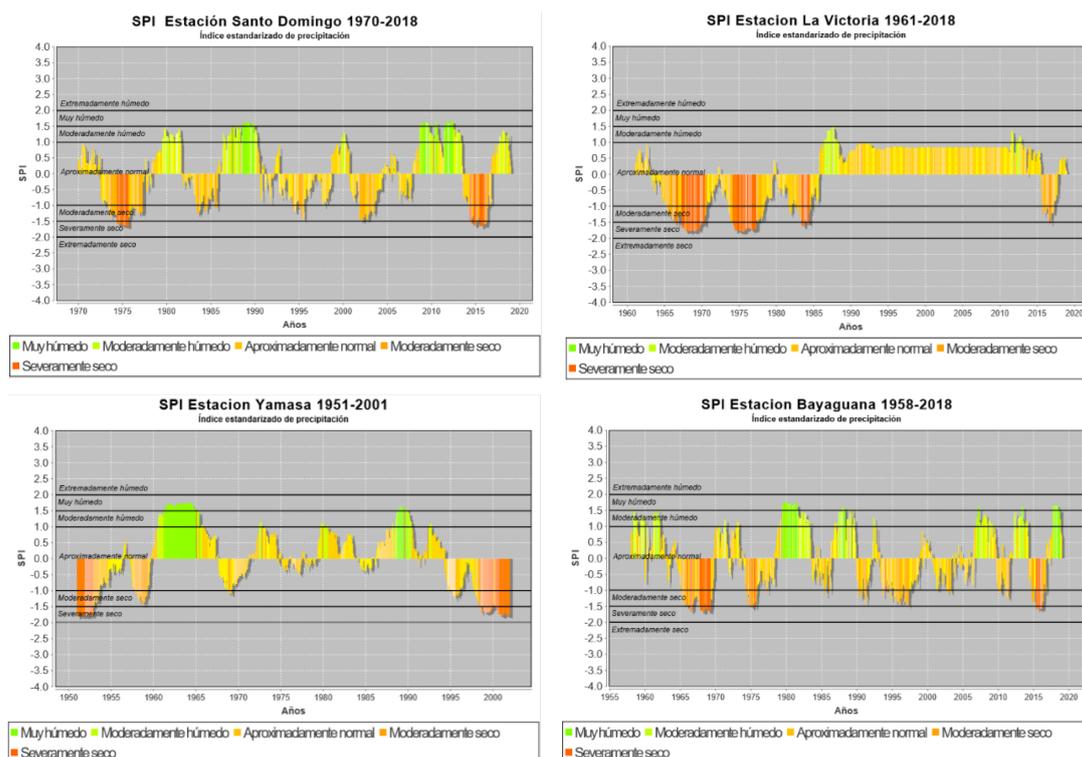


Figura 7. SPI con escala temporal de 24 meses

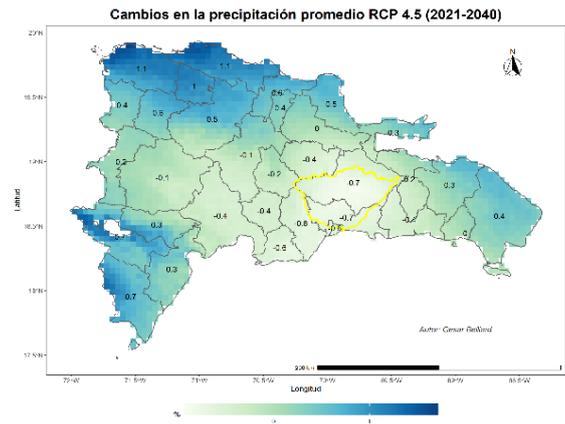
3.6 Escenarios de cambio climático

Los MCG seleccionado forman parte del Coupled Model Intercomparison Projects (CMIP) y fueron utilizados en el 5to informe del IPCC (CMIP5), mientras que para este estudio se seleccionaron los modelos del CMIP 6 (lanzados en enero 2020) a utilizarse en el sexto informe de evaluación del cambio climático IPCC 2021 (Hausfather 2019). Se tomaron 20 años como periodo de tiempo a analizar, se observaron los periodos 2021-2040 y 2041-2060, tanto para un escenario de emisión medio (RCP 4.5) como para un escenario alto (RCP 8.5). Todos los datos fueron descargados con una resolución espacial de 2.5 minutos descargables de la plataforma Worldclim v2.1¹.

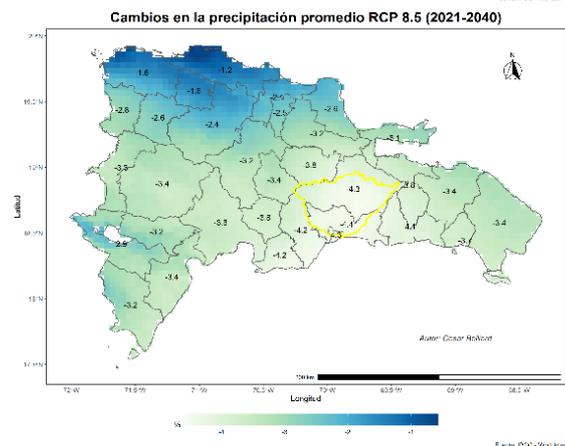
3.6.1 Escenarios climáticos de la precipitación anual y temperatura media para los RCP 4.5 y 8.5 (2021-2040)

Para el escenario RCP 4.5 al año 2040, los resultados muestran que la precipitación disminuirá en un 0.7% tanto para las provincias Santo Domingo como para Monte Plata, dentro de la cuenca del río Ozama. Mientras que, para el escenario RCP 8.5 disminuirá un 4.4% para Santo Domingo y un 4.3% para Monte Plata. En otro orden, la temperatura media de la cuenca aumentará en 1.1 °C, tanto para la provincia de Santo Domingo como para Monte Plata (RCP 4.5), aumentando a 1.2 °C para el RCP 8.5 (Figura 8).

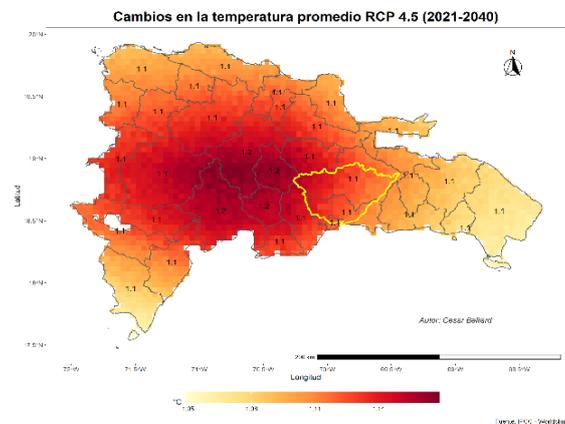
¹ <https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html>.



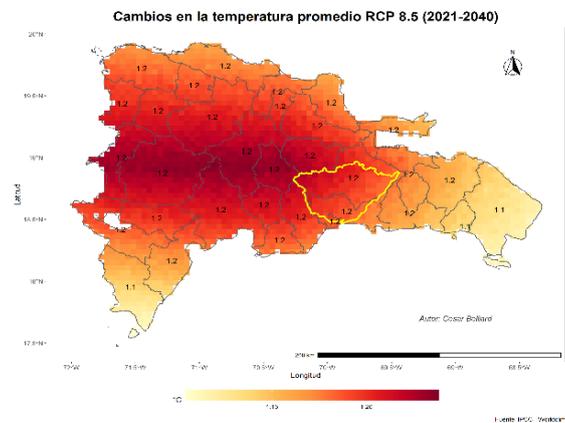
Fuente: IPCC - MIROC3.2



Fuente: IPCC - MIROC3.2



Fuente: IPCC - MIROC3.2



Fuente: IPCC - MIROC3.2

Figura 8. Variación en la precipitación y temperatura media. Escenarios RCP 4.5 y 8.5 al 2040

3.6.2 Escenarios climáticos para la temperatura media y precipitación anual para los RCP 4.5 y 8.5 (2041-2060)

Al año 2060 para el escenario RCP 4.5, los resultados muestran que la precipitación disminuirá en un 6.4% en la provincia Santo Domingo y un 6.3% en Monte Plata, dentro de la cuenca del río Ozama. Mientras que para el escenario RCP 8.5 disminuirá 10.7% en Santo Domingo y un 10.5% para Monte Plata. En otro orden, la temperatura media de la cuenca aumentará en 1.6 °C en Santo Domingo y 1.7 °C en Monte Plata (RCP 4.5), aumentando a 2 °C en ambas provincias RCP 8.5 (Figura 9).

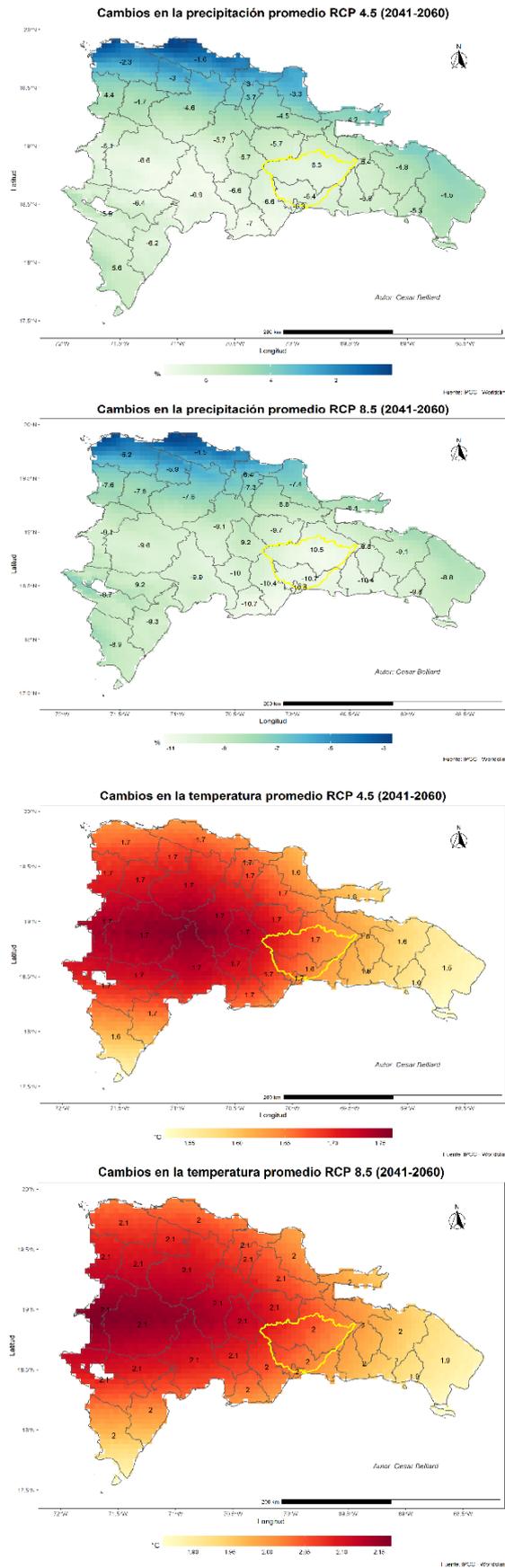


Figura 9. Variación en la precipitación temperatura media. Escenarios RCP 4.5 y 8.5 al 2060

Basado en los ocho modelos de circulación global propuesto por la plataforma WorldClim v2.1, es muy probable que para el año 2040, el aumento en la temperatura media sea de 1.2 °C mientras que para el 2060 de hasta 2 °C según el escenario RPC 8.5. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático para la República Dominicana (2015-2030) dice que las temperaturas mínimas aumentarían entre 1°C y 3°C y las máximas entre 2°C y 3°C al 2050, y que los cambios serán más evidentes en la provincia de Monte Plata donde se encuentra la parte alta de la cuenca del río Ozama (MIMARENA 2016). Los anterior mencionado no está muy lejos de la realidad global, según IPCC (2013) “Es probable que, para fines del siglo XXI, la temperatura global en superficie sea superior en 1.5 °C a la del período entre 1850 y 1900 para todos los escenarios considerados de trayectorias de concentración representativas (RCP)”.

De acuerdo con el MIMARENA (2016), la precipitación total anual para el 2060 disminuiría un 15% en la zona sur de país, mientras que, según el análisis realizado la reducción de precipitación será 10.7% con el escenario RCP 8.5, según los MCG evaluados. Esta diferencia se debe a que ellos utilizaron la versión 1 de WorldClim, mientras que en este estudio se utilizó la versión 2.0 de la misma plataforma; esta versión implica mejores ajustes en los MCG (Hausfather 2019). Tanto el aumento de las temperaturas con la disminución de las precipitaciones para la República Dominicana es una realidad según los escenarios climáticos globales, especialmente en la región sur del país donde se encuentra la cuenca del río Ozama. Esto implicaría que días cálidos y noches cálidas aumenten. Aunque en el futuro exista una reducción en la precipitación, no implica que la intensidad de esta aumente provocando que, la ocurrencia de eventos extremos de lluvia se reduzca en cantidad, pero aumenten su intensidad. Es por esto, que según IPCC (2013) habrá mayor ocurrencia de inundaciones repentinas y, por ende, poblaciones más vulnerables ante la ocurrencia de esos eventos (IPCC 2013).

4. CONCLUSIONES

- La cuenca del río Ozama, basado en las cuatro estaciones meteorológicas analizadas, presenta una temporada lluviosa que comprende los meses de mayo hasta noviembre con promedios en la precipitación de 287.7 mm al mes y una temporada seca de diciembre hasta abril con promedios en la precipitación de 53.3 mm al mes. Se ha observado aumentos de 820 mm por encima del promedio mensual y disminución de 260 mm por debajo de este. La cuenca tiene una temperatura media que oscila entre 24.3 y 27.9°C, observándose incrementos de hasta 2.90°C por encima del promedio mensual y 2.51°C por debajo de este.
- Los resultados de la caracterización climática del periodo (1970-2018) indican que el índice de humedad de las estaciones pluviométricas en la cuenca es mayor a 0.65 para los meses húmedos desde mayo hasta noviembre y menor a 0.65 para los meses secos desde enero hasta abril. La prueba de Mann-Kendall muestra

estaciones con una tendencia en la precipitación normal (valores entre 1.96 y -1.96) y para la temperatura una tendencia ascendente en dos estaciones y una tendencia descendente en las dos estaciones restantes. El índice estandarizado de precipitación (SPI) evidencia periodos muy húmedos de hasta cuatro años y periodos severamente secos de hasta tres años consecutivos. El comportamiento climático de los cuatros estaciones pluviométricas dentro de la cuenca del río Ozama es dominado por la variabilidad climática, sin un patrón claramente definido entre los meses de las estaciones analizadas. Se observan periodos muy húmedos de hasta cuatro años y periodos severamente secos de hasta tres años consecutivos, esto podría estar asociado a la ocurrencia del fenómeno El Niño.

- Los modelos de circulación global (BCC-CSM2-MR, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, CanESM5, GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MIROC-ES2L, MIROC6, MRI-ESM2-0) y los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero indican que, la precipitación media anual disminuirá entre 0.7 a 4.3% al 2040 y entre 6.4 a 10.5% al 2060. La temperatura media en la cuenca aumentará entre 1.1 a 1.2°C al 2040 y entre 1.6 a 1.7°C al 2060.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar una evaluación de los resultados obtenidos con la ocurrencia del fenómeno El Niño y obtener la relación de este, con la variabilidad climática. Evaluando la frecuencia de ocurrencia, así como también sus respectivas intensidades e identificar sus periodos de retorno.
- Realizar una comparación de eventos extremos ocurridos con los cambios en la temperatura observados, así como también, estudiar el comportamiento de otras variables climática como los vientos, días más secos etc.

6. LITERATURA CITADA

- Bautista, F; Pacheco, A; Dubrovina, I. 2019. Climate change indicators software for computing climate change indices for agriculture Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 6(17):343-351.
- Cayado, JS. 2017. Efectos del Niño, La Niña y el cambio climático Periódico Hoy, Santo Domingo; Consultado 1 junio 2020. Disponible en <https://hoy.com.do/efectos-del-nino-la-nina-y-el-cambio-climatico/>
- CIIFEN. 2020. ¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?: Consultado el 17 septiembre 2020 Disponible en http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=categor&layout=blog&id=100&Itemid=133&#:~:text=La%2

[Variabilidad climática se presenta, tiempo revisando 20 datos climáticos \(ej](#)

- Deschamps, K. 2017. El Niño: Un fenómeno devastador: Consultado 01 junio 2020. Disponible en <https://indrhi.gob.do/2017/07/17/el-nino-un-fenomeno-devastador/>
- Fick, S.E.; Hijmans, R. 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37 (12): 4302-4315.
- García, MC; Botero, AP; Quiroga, FAB; Robles, EA. 2012. Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia *Revista de Ingeniería* (36):60-64.
- Garduño, R. 2004. ¿Qué es el efecto invernadero? *Cambio climático: una visión desde México* 29.
- Glenn, E; Comarazamy, D; González, JE; Smith, T. 2015. Detection of recent regional sea surface temperature warming in the Caribbean and surrounding region *Geophysical Research Letters* 42(16):6785-6792.
- Gómez, AMO; Montiel, C; Tavera, ÁG; Pacheco, A; Bautista, F. 2019. Climatic hazard indicators for rainfed maize in a developing country: the case of Bajo Balsas, México *Nova scientia* 11(22):26-52.
- HAUSFATHER, Z. 2019. CMIP6: the next generation of climate models explained. Consultado 7 agosto 2020. Disponible en <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained>
- Herrera-Moreno, A. 2013. Datos y escenarios climáticos para la región Sur de la Provincia La Altagracia, República Dominicana:
- IPCC. 2013. Contribución Del Grupo De Trabajo I Al Quinto Informe De Evaluación Del Grupo Intergubernamental De Expertos Sobre El Cambio Climático. 18-23.
- IPCC. 2013. CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO I AL QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO: 18-23. Consultado el 01 septiembre 2020. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf
- Marticorena, B. 1999. Perú: Vulnerabilidad frente al cambio climático: Aproximaciones a la experiencia con el fenómeno El Niño.
- McSweeney, MNyGL. 2007. UNDP Climate Change Country Profiles Dominican Republic: Consultado 01 junio 2020. Disponible en <https://www.geog.ox.ac.uk/research/climate/projects/undp-cp/>
- MIMARENA. 2016. Plan Nacional De Adaptación Para El Cambio Climático En La República Dominicana 2015-2030.
- Montiel-González, C; Gallegos-Tavera, Á; Ortega-Gómez, AM; Bautista, F; Gopar-Merino, F; Velázquez, A. 2019. Análisis climático para la agricultura de temporal en Michoacán, México *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 6(17):307-316.
- Moyano, MC; Aguilera, R; Pizarro, R; Sanguesa, C; Urra, N. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Tesis Universidad de Talca, Chile.

- OMS, W; Organization, WH. 2009. Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health:
- ONAMET, ONdM. 2017. Historia de la presencia de los tsunamis en República Dominicana. Disponible en www.onamet.gov.do/m/tsunami/02w-whistoria-tsunami.php
- Ortega Gómez, AM; Montiel González, C; Gallegos Tavera, Á; Pacheco, A; Bautista, F. 2019. Indicadores de riesgo climático para el maíz de temporal en un país en desarrollo: el caso del Bajo Balsas, México *Nova scientia* 11(22):26-52.
- Ramírez-Cerpa, E; Acosta-Coll, M; Vélez-Zapata, J. 2017. Análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de corto plazo en zonas urbanas: caso de estudio Barranquilla, Colombia *Idesia (Arica)* 35(2):87-94.
- Rueda, VOM; García, CG. 2002. Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos *Gaceta ecológica* (65):7-23.
- Samaniego, J. 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe. *Reseña* 2009:
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2006. El cambio climático en 21 América Latina y El Caribe. PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). La Habana, Cuba. ISBN 968-817-677-X. 140 p.
- Thornthwaite, CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate *Geographical review* 38(1):55-94.
- USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional); BIOMARCC – GIZ. 2013. Estudio Integrado de Vulnerabilidad y Escenarios Bioclimáticos de los Recursos y Ecosistemas Marino-Costeros de la Costa Caribe de Nicaragua y Panamá. USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas y el Proyecto Biodiversidad Marino-Costera en Costa Rica - Desarrollo de Capacidades y Adaptación al Cambio Climático (BIOMARCC), 94 p.
- Vincenti, SS; Zuleta, D; Moscoso, V; Jácome, P; Palacios, E; Villacís, M. 2012. Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad y cambio climáticos en el Distrito Metropolitano de Quito *La Granja* 16(2):23-47.

Artículo 2. Evaluación de la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones en la cuenca del río Ozama, Santo Domingo, República Dominicana

César Eugenio Belliard Sánchez

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)

Cesar.belliard@catie.ac.cr

Resumen

El estudio se realizó en la parte baja de la cuenca del río Ozama, Santo Domingo, República Dominicana con el objetivo de determinar la amenaza y vulnerabilidad a inundaciones. Para la determinación de la amenaza de inundaciones se establecieron caudales máximos en el tramo de estudio con diferentes periodos de retorno (50, 75, 100, 200) y las planicies de inundación utilizando modelación hidráulica con el software HEC-RAS. Se aplicó la distribución de Gumbel y log Pearson III para la selección de caudales a modelar. Utilizando el MED del tramo seleccionado con resolución 12.5 m (Alos Palsar), se creó la geometría del río con sus secciones transversales y estructuras hidráulicas en ArcGIS pro, se exportó a HEC-RAS, se corrió el modelo, obteniendo los perfiles, áreas, alturas y velocidades de las posibles inundaciones realizando mapas de amenaza, según el periodo de retorno de los caudales. El análisis de vulnerabilidad se realizó tomando como referencia la metodología de Wilches-Chaux, considerando nueve (9) tipos de vulnerabilidad y un total 31 indicadores, que fueron evaluados con autoridades locales y especialistas en temas de gestión de riesgo. La obtención de datos se obtuvo a través de entrevista utilizando la herramienta Survey123 de recolección y recopilación de datos de campo.

El tramo seleccionado tiene una longitud de 5.4 km y se modeló con caudales máximos que varían desde 1,077 hasta 1,702 m³/s, produciendo inundaciones con bajas velocidades y flujos subcrítico (No. de Froude < 1). Las comunidades más afectadas en todos los periodos de retorno modelados fueron Domingo Savio y Gualey. Se concluye que el tramo seleccionado presenta vulnerabilidad alta (67%), donde los indicadores más críticos son los relacionados con la económica de los actores locales y su capacitación en gestión del riesgo.

Palabras claves: vulnerabilidad, modelación hidráulica, amenaza, inundaciones.

Abstract

The study was carried out in the lower part of the Ozama river basin, Santo Domingo, Dominican Republic with the objective of determining the threat and vulnerability to floods. To determine the flood threat, maximum flows were determined in the study section with different return periods (50, 75, 100, 200) and the flood plains using hydraulic modeling with the HEC-RAS software. The Gumbel and log Pearson III distribution were applied for the selection of flows to be modeled. Using the MED of the selected section with 12.5 m resolution (Alos Palsar), the geometry of the river with its cross sections and hydraulic structures was created in ArcGIS pro, it was exported to HEC-RAS, the model was run, obtaining the profiles, areas, heights and speeds of possible floods making hazard maps, according to the period of return of the flows. The vulnerability analysis was carried out taking the Wilches-Chaux methodology as a reference, considering 9 types of vulnerability and a total of 31 indicators, which were evaluated with local authorities and specialists in risk management issues. Data collection was obtained through interviews using a Survey123 tool for collecting and collecting field data.

The selected section has a length of 5.4 km and was modeled with maximum flows that vary from 1,077 to 1,702 m³ / s, producing floods with low velocities and subcritical flows (No. of Froude <1). The most affected communities in all the modeled return periods were Domingo Savio and Gualey. It is concluded that the selected section presents high vulnerability (67%) where the most critical indicators are those related to the economic situation of the local actors and their capacity in risk management.

Keywords: vulnerability, hydraulic modeling, threat, floods.

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de fenómenos asociados con el clima y la naturaleza ha estado presente en la historia de la humanidad e incluso se estima que son causa de la evolución (Goloubinoff 1997). Actualmente los cambios en el clima son una realidad inequívoca; se observa la presencia de fenómenos como huracanes, tormentas, terremotos con intensidades cada vez más elevadas produciendo daños como inundaciones, destrucción de viviendas, pérdidas de vidas, entre otros, así como también cambios en los patrones de precipitación y temperatura (Caetano 2011; Magrin et al. 2015). Los efectos de estos cambios se están sintiendo fuertemente en Centroamérica y en el Caribe (CEPAL 2017).

La modelación hidráulica permite, a partir de caudales de entrada, analizar la respuesta hidráulica de un río en condiciones de funcionamiento normal o extremo dando información acerca del nivel del agua, profundidad, zonas de desbordamiento (Bolaños et al. 1999). En este caso, se utilizará HEC-RAS, el cual es un paquete integrado de programas de análisis hidráulicos ampliamente utilizado para modelar eventos máximos con diferentes periodos de retorno, con la finalidad de realizar un análisis de inundaciones, planificación de sistemas de alerta temprana (SAT), ordenamiento territorial, etc. (Madrigal et al.1995; Rivera et al. 2002; Yabar et al. 2018).

La vulnerabilidad, según IPCC (2014), es la predisposición a ser afectado negativamente. Esta considera una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación. La vulnerabilidad significa también una falta de las comunidades, poblaciones o ciudades en la resiliencia y resistencia, así como la falta de condiciones en la recuperación y reconstrucción del ambiente y las personas afectadas (Lavell et al. 2003). El impacto de los cambios en el clima no solo depende de la magnitud y la frecuencia con la que ocurran estos cambios, sino también del grado de exposición y el nivel de vulnerabilidad de la comunidad. Adaptarse no es una tarea fácil, debido a que no se puede predecir con exactitud el comportamiento del clima en un lugar determinado (Guilyardi et al. 2019).

República Dominicana, por su ubicación geográfica, está fuertemente influenciada por la ocurrencia de huracanes y tormentas que han producido fuertes inundaciones en las partes media y bajas de las cuencas hidrográficas (Gómez et al. 2009). La cuenca del río Ozama presenta un gran crecimiento poblacional, por ser la cuenca que divide la capital del país. Posee recursos naturales de alto valor (humedales, reservas ecológicas, bosques etc.) (Ortega et al. 2019). Posee el puerto turístico más antiguo del país, el puerto de San Soucí (Alemany 2014). Dada su importancia surge la necesidad de tomar acciones para enfrentar la amenaza y reducir la vulnerabilidad mediante medidas de prevención y mitigación del riesgo que permitan, además, adaptarse a los cambios que puedan suceder.

2. METODOLOGÍA

La metodología del estudio se divide en dos fases consecutivas: la primera, relacionada con la utilización de caudales máximos y sus periodos de retornos, la geometría del río y las condiciones del entorno del tramo de estudio para la generación de mapas de amenazas a inundaciones; la segunda, relacionada con recopilación de información social, económica, física etc., de las comunidades adyacentes al tramo de estudio para evaluar la vulnerabilidad global, que afecta la parte baja de la cuenca del río Ozama.

2.1 Área de estudio

La cuenca del río Ozama abarca seis microcuencas comprendidas en gran parte de la provincia Santo Domingo, con los municipios Santo Domingo Norte, Santo Domingo Este, San Antonio de Guerra, Pedro Brand, Los Alcarrizos y el Distrito Nacional. En la provincia Monte Plata abarca grandes áreas de los municipios de Yamasá, Bayaguana, Sabana Grande de Boyá, Peralvillo y del municipio de Monte Plata cabecera de la provincia. En la provincia San Cristóbal comprende una pequeña porción del municipio Villa Altagracia. La cuenca se encuentra localizada geográficamente en las coordenadas 18°58', 18°23' latitud norte y 70°16', 69°24' longitud oeste.

Limita al norte con las cuencas del río Yuna y Barracote, al sur por el mar caribe, al este por la cuenca de los ríos Higuamo, Brujuela y la cuenca costera de Cabo Caucedo y al oeste por la cuenca del río Haina. La cuenca del río Ozama tiene una superficie de 2,847.6 km² y el cauce principal tiene una longitud de 148 km. La topografía varía de plana a accidentada, con una altitud mínima del nivel del mar y máxima que alcanza los 850 m.s.n.m. La precipitación sigue un patrón de lluvia de 1,000 a 2,000 mm anuales, el cual se incrementa en la zona de montaña. La temperatura media anual oscila entre 23 a 24°C con una evapotranspiración potencial estimada en un 20% menor que la precipitación media total anual (MIMARENA 2019) (Figura 10).

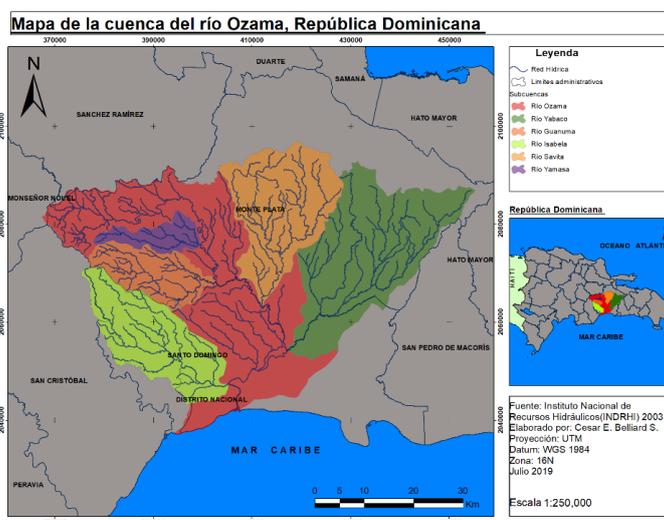


Figura 10. Ubicación geográfica de la cuenca del río Ozama

2.2 Proceso metodológico

2.2.1 Delimitación del tramo de estudio

Se seleccionó el tramo de estudio en la parte baja de la cuenca, específicamente en la salida de la cuenca, el motivo de la elección de este radicó en los siguientes criterios:

- Las constantes inundaciones ocurridas que afectan constantemente los sectores de Las Cañitas, Gualey, Los Guandules, El Arrozal, Villa Francisca, Molino Nuevo, Barrio Oxígeno y La Isla.
- Área en la cual existe una amplia concentración de la población que recibe daños físicos, económicos, humanos ante la presencia de inundaciones.
- Disponibilidad de información meteorológica e hidráulica en la zona.

El tramo seleccionado tiene una longitud de 5.4 km desde el barrio Las Cañitas (18°30'50.49"N, 69°53'40.05"O) hasta la desembocadura en el mar Caribe (18°28'33.70"N, 69°52'51.90"O).

2.2.2 Análisis estadísticos de caudales máximos

Se realizó un análisis de frecuencia basado en los caudales máximos del tramo en estudio para determinar los caudales extremos, según los diferentes periodos de retorno para ingresarlos a HEC-RAS. Se utilizó información de los caudales diarios de los afluentes del río Ozama proporcionados por el INDRHI. Se seleccionó el periodo en común (1967-1982) más completo de todas las estaciones. Ese periodo fue también utilizado en modelaciones previas en la misma zona de estudio. Cuando se había seleccionado los caudales, se aplicó la distribución de Gumbel y Pearson tipo 3, utilizadas por su buen ajuste a fenómenos estocásticos hidrológicos e hidráulicos, se eligió la que tuvo mejor ajuste a los datos obtenidos y posteriormente se obtuvieron los caudales a utilizar en la modelación hidráulica con sus periodos de retorno (25, 50, 100 y 200 años).

2.2.3 Modelación hidráulica para determinar áreas de inundación con ArcGis y HEC-RAS

El análisis hidráulico consistió en realizar una representación de la dinámica del flujo en el tramo seleccionado de la zona de estudio, para simular el grado de respuesta del río ante la presencia de caudales máximos según diferentes periodos de retorno, con la finalidad de establecer las planicies o áreas de inundación. Para esto se utilizó la geometría del cauce, secciones transversales del cauce, caudales máximos y condiciones del entorno. El modelo seleccionado para ejecutar dicha modelación fue HEC-RAS (River Analysis System). Programa desarrollado por el Hydrologic Engineering Center

del U.S. Army Corps of Engineers, de los Estados Unidos. Es de acceso libre y permite a los usuarios realizar cálculos hidráulicos en flujo permanente unidimensional (1D) y en flujo no permanente en dos dimensiones (2D), cálculos de transporte de sedimentos/fondo móvil, modelación de temperatura del agua y una modelación generalizada de la calidad del agua (contenido de nutrientes y transporte).

2.2.3.1 Creación del esquema geométrico del río

Se utilizó ArcGIS pro para la creación de la información geométrica (Figura 11). La cual consistió en los siguientes pasos:

- Descargar MED², con resolución espacial de 12.5 m. Se procesó el mismo para llenar los espacios vacíos a través del comando interpolación de ArcGIS
- Con el shape del área de estudio, se recortó la zona de interés.
- Se delimitó la geometría del cauce y los tramos del río con líneas en formato shape, especificando el río principal, tributarios, cañadas etc. Luego se delimitaron los márgenes del río con la misma temática.
- Se delimitaron las líneas de flujo para determinar las longitudes aguas abajo entre las secciones transversales del río. Especificando su derecha, centro e izquierdas, mirando aguas abajo del tramo seleccionado.
- Se delimitaron las secciones transversales para determinar la localización de las estaciones del río, las longitudes de los tramos, los valores n de Manning, las áreas inefectivas, las obstrucciones y la posición de diques (si existiera). Esto se realizó con el complemento Station Lines fijando la distancia entre secciones, ángulo y tomando en cuenta que no se intercepten, no salgan del DEM y colocando estaciones antes y después de puentes. La separación entre secciones se realizó tomando en cuenta la geometría del río, tratando de representar cambios en esta, considerando la longitud del tramo se realizaron cada 250 metros tomando las consideraciones anteriores.
- Se crearon las estructuras hidráulicas (puente).
- Se utilizó la tabla propuesta por Ven Te Chow para la selección del número n de Manning.
- Se actualizaron las elevaciones de toda la geometría creada con base en el MED.
- Se guardó la geométrica creada para importarlo a HEC-RAS.

² <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/>

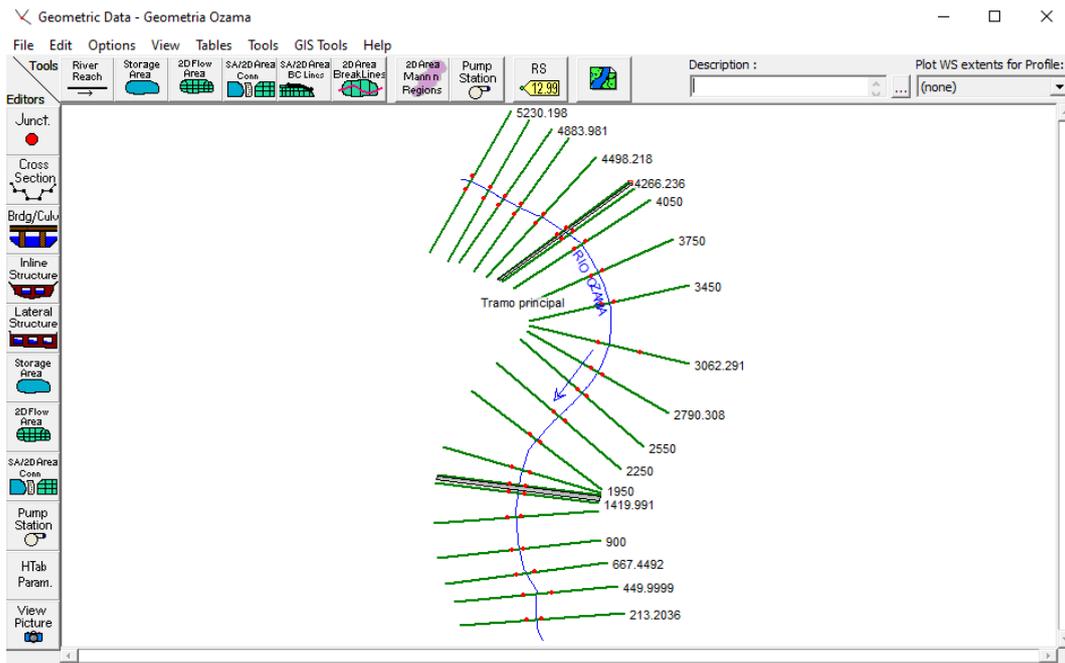


Figura 11. Geometría del río Ozama importada a HEC-RAS

2.2.3.2 Creación de la información hidráulica en HEC-RAS

La información hidráulica consistió en los siguientes pasos:

- Suministro de datos a HEC-RAS (realizados en la sección anterior).
- Control de calidad de datos suministrados revisando: geometría de secciones transversales, valores de n Manning razonables, estaciones de riberas, estructuras hidráulicas y áreas de almacenamiento ubicadas correctamente, tipo de flujo a simular y pendiente (Figura 12).
- Se filtraron los puntos de las secciones transversales removiendo puntos innecesarios (Figura 13).
- Se editó la información relacionada con los puentes donde se le agregó información de su respectivo diseño (elevación, número de pilotes, espaciamiento, ancho, losa, etc.); esta información fue solicitada en el Ministerio de Obras Públicas (MOPC).
- Se ingresaron los datos de flujo de cada periodo de retorno, condiciones de frontera, pendiente del tramo. Como es un solo tramo de estudio se colocó un perfil de flujo permanente (Figura 14).

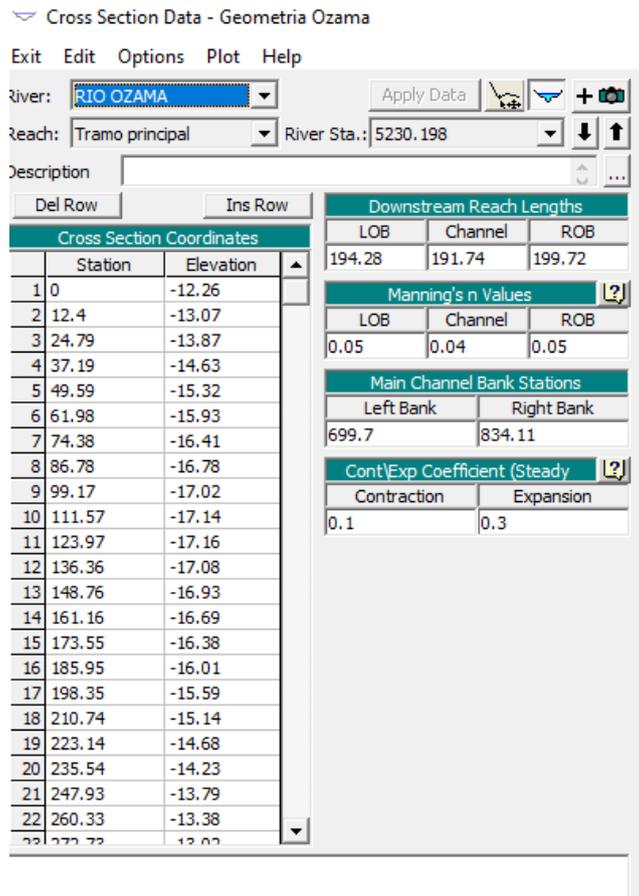


Figura 12. Datos de las secciones transversales del tramo en estudio

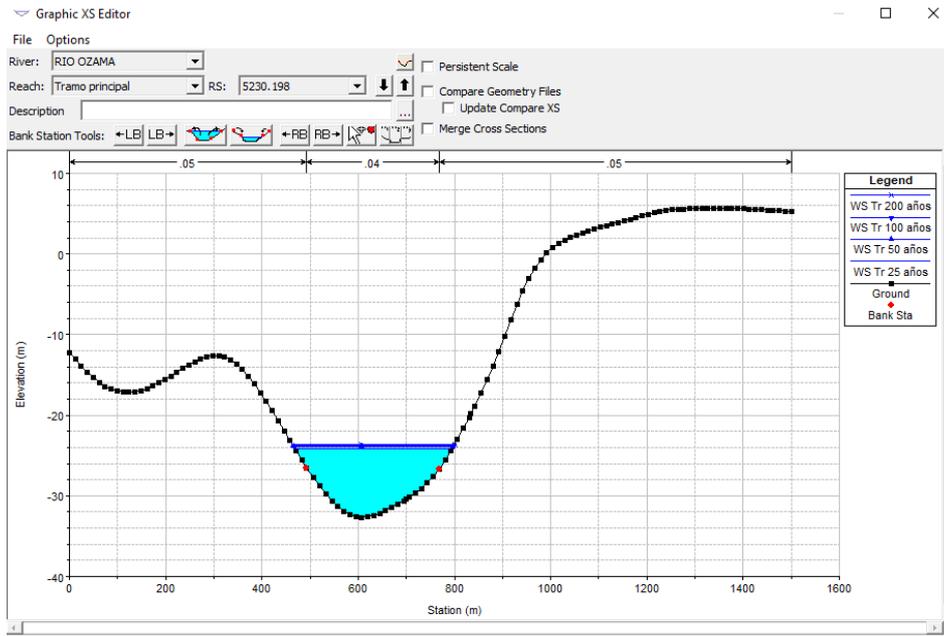


Figura 13. Sección transversal de la estación 5230.2

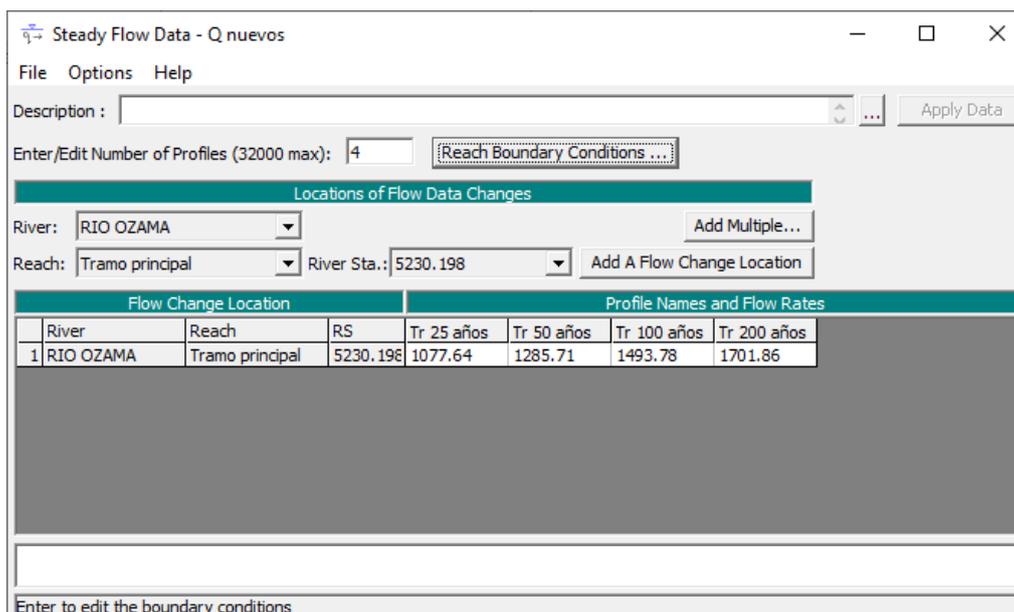


Figura 14. Caudales seleccionados y periodos de retorno

2.2.3.3 Corrida del modelo

- Se combinaron los archivos de geometría (tramo y secciones) con el archivo de flujo permanente y caudales máximos probables.
- Se creó un nuevo plan, se seleccionó el régimen de flujo (régimen mixto).
- Se corrió el modelo, si todos los datos para ello son correctos, y se observará las planicies de inundación producidas según el caudal elegido y los diferentes periodos de retornos establecidos (Figura 15).
- Se visualizaron los resultados con una vista tridimensional de los perfiles y el área de inundación.
- Se exportaron los resultados de HEC-RAS.
- Se importaron los resultados de HEC-RAS a ArcGIS Pro, el modelo de elevación digital o la imagen web del lugar, con la finalidad de obtener el espejo de agua producto de los escenarios simulados y observar las comunidades afectadas en los diferentes periodos de retorno.

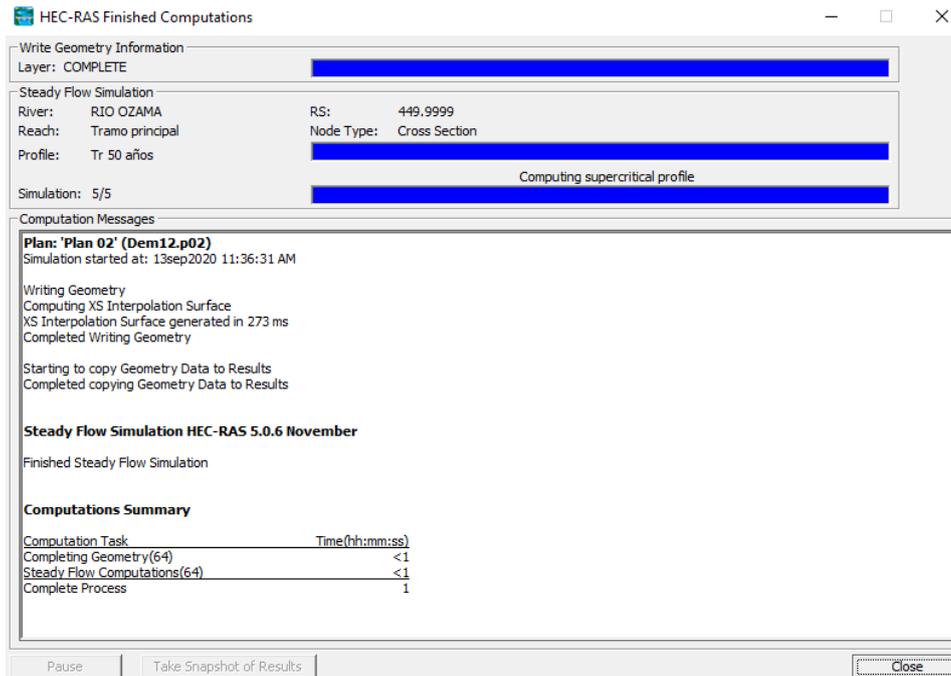


Figura 15. Salida del programa al completar el análisis

2.2.3.4 Limitaciones de la modelación hidráulica

Debido a la falta de datos observados en el tramo de estudio, no fue posible hacer la comparación de caudales modelados vs observados. Por lo tanto, no se realizó la calibración del modelo en HEC-RAS.

2.2.4 Vulnerabilidad global ante inundación considerando indicadores biofísicos, sociales, económicos e institucionales

Obtenidos los resultados de los objetivos anteriores, se procedió a realizar el análisis de la vulnerabilidad global ante inundación en el tramo de estudio definido para la modelación hidráulica, considerando indicadores biofísicos, sociales, económicos, educativos, ecológicos e institucionales para identificar los elementos que ponen las zonas más vulnerables ante la ocurrencia de los posibles eventos modelados previamente.

Se creó un formulario con las variables y los indicadores útiles para cada vulnerabilidad evaluada, el mismo fue validado con las instituciones locales. El proceso realizado para el análisis de vulnerabilidad global fue el siguiente (Figura 16).

2.2.4.1 Recorrido del tramo en estudio

La zona a realizar el análisis de vulnerabilidad global se determinó mediante un recorrido en las zonas adyacentes al río donde es más probable afecte negativamente si ocurre un evento de inundación. Se seleccionó un tramo de 5.4 de longitud y 300 metros horizontales a ambos lados del cauce del río. Con representantes de la comunidad y miembros del COE se efectuó una exploración de la zona para tener conocimiento del estado del tramo seleccionado, priorizando los lugares afectados y características físicas de la zona.

2.2.4.2 Metodología para vulnerabilidad global

Se utilizó el concepto propuesto por Wilches-Chaux (1993) donde afirma que la vulnerabilidad es una interacción de factores y características que interactúan con la comunidad y debe estudiarse en ese contexto. Además de su amplia utilidad en estudios de tesis realizados anteriormente en CATIE relacionados con la vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones, sequías, deslizamientos en cuencas hidrográficas. El análisis de vulnerabilidad del tramo inundable de la cuenca del río Ozama fue basado en la metodología propuesta por Cáceres (2001) y Gálvez (2010). Para este estudio se dividió la vulnerabilidad global en varias sub-vulnerabilidades.

2.2.4.3 Creación y validación de los indicadores de vulnerabilidad global

Se efectuó una propuesta tentativa de variables e indicadores basados en los indicadores seleccionados por Gálvez (2010). Estos fueron reevaluados en campo con visitas, recorridos, instituciones locales, informantes clave y expertos con la ayuda del Centro de Operaciones de Emergencia (COE), tomando en cuenta que existiera al menos un indicador por cada variable a estudiar. Una vez validados las variables y los indicadores de cada tipo de vulnerabilidad se realizó el protocolo de entrevistas estructuras en base a los indicadores previamente seleccionados.

2.2.4.4 Taller para validación de indicadores

Los indicadores definitivos se seleccionaron mediante una validación a través de talleres participativos entre actores clave (ONAMET, COE, ONESVIE) realizados en la ciudad de Santo Domingo. En el mismo se abordaron los siguientes ítems.

- Presentación del proyecto
- Explicación de conceptos claves de vulnerabilidad
- Necesidad de ponderación de los capitales de vulnerabilidad global

- Lineamientos para cada indicador
- Ponderación de cada capital
- Selección de los indicadores
- Presentación del protocolo de encuesta

A cada participante se le preguntó qué indicadores consideraban necesarios para evaluar la vulnerabilidad de los poblados de la cuenca. De la misma manera, se ponderaron la importancia de cada indicador para establecer pesos a la hora de establecer el Índice de Vulnerabilidad Global. Como resultado se obtuvo los pesos relativos de cada componente de la vulnerabilidad global.

En Anexo 3 se muestran los parámetros y consideraciones utilizadas como guía para validar y valorar los indicadores utilizados para determinar la vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones en el tramo seleccionado de la cuenca del río Ozama.

A continuación, en el Cuadro 2, se muestra una lista de los indicadores seleccionados por cada componente de vulnerabilidad.

Cuadro 2. Indicadores para evaluar los tipos de vulnerabilidad

Tipo de vulnerabilidad	Variables respuestas	Indicador
Física	Asentamientos humanos en zonas de inundación	1) Número de edificaciones
	Tipo de material de construcción de estructuras (puentes, diques)	2) Número de estructuras por tipo de construcción
	Capacidad hidráulica de los puentes	3) Número de puentes con capacidad hidráulica para avenidas máximas
	Condición de la vivienda ubicadas en las riberas o zonas de inundaciones	4) Número de viviendas en mal estado
	Infraestructura destinadas y acondicionadas para emergencias	5) Número de infraestructuras existentes
	Distancia de río o quebrada	6) Número de viviendas ubicadas entre 0 y 160 m de un río o quebrada más cercana
	Accesibilidad a la comunidad	7) Número de meses con accesibilidad durante el año

	Organización comunal e institucional	8) Número de organizaciones e instituciones activas relacionadas con la gestión del riesgo existente en la zona de estudio
Social	Planes familiares de emergencia a inundaciones	9) El % de las familias que viven en zonas de riesgo a inundaciones que tienen un plan de emergencia
	Ubicación de servicios de salud	10) Que tan lejos quedan los centros de salud
	Acceso a comunicación	11) Porcentaje de la población tiene acceso a radio, teléfono, tv e internet
Ecológica	Degradación de la superficie	12) El grado de degradación de la superficie por deforestación, uso intensivo, erosión, etc.
	Franjas ribereñas	13) El % longitudinal de franja ribereña de al menos de 5mts de ancho, a ambos lados del cauce del río eliminada
	Situación económica de las familias que viven en zonas de riesgo de inundaciones	14) Ingreso mensual de las familias que viven en zonas de riesgo a inundaciones
Económica	Nivel de desempleo	15) Porcentaje de habitantes desempleados
	Acceso a servicios públicos	16) Porcentaje de habitantes que no tiene acceso a servicios públicos
	Aplicación de normativa para reducir el riesgo de inundaciones	17) El grado de cumplimiento de normativa ambiental que reduce riesgo a inundaciones
Política	Relevancia para los decisores de la problemática de inundaciones	18) El grado de relevancia para los tomadores decisiones del problema de inundaciones
	Apoyo gubernamental a proyectos de la comunidad	19) Número de proyectos ejecutados por año
	Liderazgo de la comunidad	20) Porcentaje de líderes que tiene la comunidad para representarlos

Ideológica	Percepción fatalista a inundaciones	21) El % de la población que considera que las inundaciones ocurren porque Dios así lo tiene destinado o porque simplemente tienen que ocurrir
	Capacitación en gestión del riesgo a inundaciones	22) El % de la población que vive en zona de riesgo a inundaciones que ha recibido capacitación en ese tema
Educativa	Frecuencia de capacitación en inundaciones	23) Número de eventos anuales de capacitación sobre inundaciones
	Grado de escolaridad	23) El % de analfabetismo
Técnica	Tecnología de construcción en zonas de riesgo a inundaciones	25) El % de la infraestructura con técnicas adecuadas de construcción
	Equipos y obras para prevenir o mitigar el riesgo	26) Disponibilidad de equipos
	Diseño de obras hidráulicas con capacidad para eventos extremos	27) El % de obras hidráulicas con capacidad para soportar eventos extremos
	Mantenimiento de obras hidráulicas	28) Frecuencia de mantenimiento de obras hidráulicas
	Estados de puentes	29) El % de puentes en buen estado
Cultural	Integración intercomunal para prevención de inundaciones	30) El % de la población dispuesta a trabajar en equipo
	Percepción del riesgo a inundaciones por la comunidad	31) El % de la comunidad que no percibe como una situación importante el riesgo a inundaciones

2.2.4.5 Protocolo de encuestas

El protocolo consistió en la presentación de la investigación para obtener el consentimiento informado de los encuestados. El proceso se basó en una encuesta semiestructurada con preguntas abiertas y preguntas cerradas. En esta encuesta se abordaron preguntas en un orden lógico con la intención de dar respuesta a cada uno de los indicadores asociados a los capitales de la comunidad, necesarios para la

investigación. Hubo al menos una pregunta que ayudó a obtener información sobre cada indicador de interés.

Una vez elaborado el protocolo de encuesta fueron presentados a los informantes clave y finalmente, se obtuvieron datos acerca del nivel de vulnerabilidad de cada indicador y conjuntamente de la vulnerabilidad global de la zona para posteriormente mapear las zonas vulnerables. Se utilizó la herramienta Survey123 asociada a ArcGIS pro, sistema de información geográfica de pago y disponible en link: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-pro/overview>, esto fue realizado con una licencia del programa suministrada por CATIE a los estudiantes activos de maestría. Esta herramienta fue muy útil al momento de georreferenciar los resultados obtenidos de las encuestas. Su facilidad de descargar la aplicación en el celular ayudó a simplificar el proceso, evitando la impresión de cada encuesta realizada y observando los resultados desde cualquier dispositivo. Esta también permite que varios usuarios puedan realizar la encuesta. El protocolo utilizado puede observarse en Anexo 4.

2.2.4.6 Valoración, procesamiento y cálculo de índices

En primer lugar, se realizó la valoración de cada indicador de vulnerabilidad para determinar sus niveles según: muy alta (5), alta (4), media (3), baja (2) y muy baja (1). Esto se basa en la premisa de que mientras más alto sea la valoración numérica, mayor será la vulnerabilidad del indicador en el área de estudio. En ese mismo orden, se realizó la valoración de cada vulnerabilidad, el mismo se realizará en porcentaje según: Muy alta (80-100), alta (60-79), media (40-59), baja (20-39), muy baja (0-19) (Cuadro 3). Se categorizó la vulnerabilidad resultante de forma porcentual dividiendo el valor promedio obtenido entre la valoración máxima y luego multiplicándolo por 100. En Anexo 5, se muestra la calificación para cada indicador utilizado para obtener respuesta de cada variable y posteriormente el nivel de vulnerabilidad.

Cuadro 3. Caracterización de cada vulnerabilidad

Caracterización de la vulnerabilidad	Valoración de la vulnerabilidad	Vulnerabilidad (%)
Muy baja	0	0.0 - 19.9
Baja	1	20.0 - 39.9
Media	2	40.0 - 59.9
Alta	3	60.0 - 79.9
Muy Alta	4	80.0 - 100

El procesamiento para el cálculo se realizó de la siguiente manera:

- Se analizaron las preguntas cualitativas en la base de datos obtenida de Survey123, para luego darle valoraciones numéricas entre 0-4.
- Se re-escalaron los valores a 1-5.
- Se separaron por colores los indicadores pertenecientes a cada tipo de vulnerabilidad.
- Se sumaron los valores de cada indicador y se dividieron entre el total para obtener los promedios de cada vulnerabilidad.
- Una vez obtenido el índice de cada vulnerabilidad se comparó con la escala porcentual propuesta y se clasificaron según el nivel obtenido.
- Se promediaron los valores de cada vulnerabilidad para obtener el valor de vulnerabilidad global.
- Una vez obtenido el índice de vulnerabilidad global se comparó con la escala porcentual propuesta y se clasificó según el nivel obtenido.

Debido a que el número de indicadores por cada tipo de vulnerabilidad es diferente y existe una amplia diferencia entre sus cantidades (1-8) se optó por realizar el cálculo de vulnerabilidad global con el promedio de todos los indicadores. El mismo se realizó con la fórmula siguiente:

$$\text{Vulnerabilidad Global} = \Sigma (\mathbf{A}) + (\mathbf{B}) + (\mathbf{C}) + (\mathbf{D}) + (\mathbf{E}) + (\mathbf{F}) + (\mathbf{G}) + (\mathbf{H}) + (\mathbf{I}) / \mathbf{N} \dots$$

Donde:

a = Vulnerabilidad física, b = Vulnerabilidad social, c = Vulnerabilidad ecológica, d = Vulnerabilidad económica, e = Vulnerabilidad política, f = Vulnerabilidad ideológica g= Vulnerabilidad educativa, h = Vulnerabilidad técnica, i =Vulnerabilidad cultural y N = el número de vulnerabilidades

2.2.4.7 Mapas de vulnerabilidad

Para la creación del mapa de vulnerabilidad global se realizó una capa en formato ráster con los valores obtenidos del análisis de vulnerabilidad.

Una vez transformada la base de datos obtenida de Survey123 en una base de datos cuantitativa, se sumaron todos los valores de cada indicador por cada encuesta realizada con su respectiva ubicación. Luego se pasaron los datos a InfoStat y se reescalaron esos valores entre 0 y 1. Para ello, se eligió la opción Transformar → la variable suma → Aceptar. Una vez calculado el índice de vulnerabilidad global por cada punto, se realizó la especialización de los datos y la generación de mapas.

Para hacer uso correcto de los datos calculados para cada índice, se estandarizaron los datos con la transformación raíz del Arco-Seno en InfoStat (Balzarini et al., 2008). Esta transformación permite que las varianzas sean constantes en toda el área de estudio

y que los datos se distribuyan normalmente (ESRI 2014). Para ello, se eligió la opción Transformar → Valores Suma (0-1) → Aceptar.

En la nueva ventana se eligió la opción de transformación para Arcoseno (Raíz(p)) y luego Aceptar. Se guardaron los resultados en un archivo de Excel en formato .CSV. Una vez estandarizados los datos, se transportaron a ArcMap para la interpolación y especialización de ellos.

Se procesó la capa de datos de la transformación en ArcGis pro, mediante la herramienta de interpolación Inverse Distance Weighted (IDW). De este cálculo se obtuvo un archivo en formato ráster, luego se procedió a diseñar el mapa de distribución de los valores asociados a los diferentes puntos, según su de vulnerabilidad en la zona de estudio.

2.2.4.8 Limitaciones del análisis de vulnerabilidad global

La metodología propuesta es lineal, debido a que la cantidad de indicadores no eran comparables, ya que se evaluó un tipo de vulnerabilidad con siete indicadores, mientras que otros tipos con un indicador, por lo que no había ortogonalidad en los indicadores seleccionados. Se recomienda tratar de igualar la cantidad de indicadores para poder ponderarlos y volver a realizar el cálculo de vulnerabilidad global.

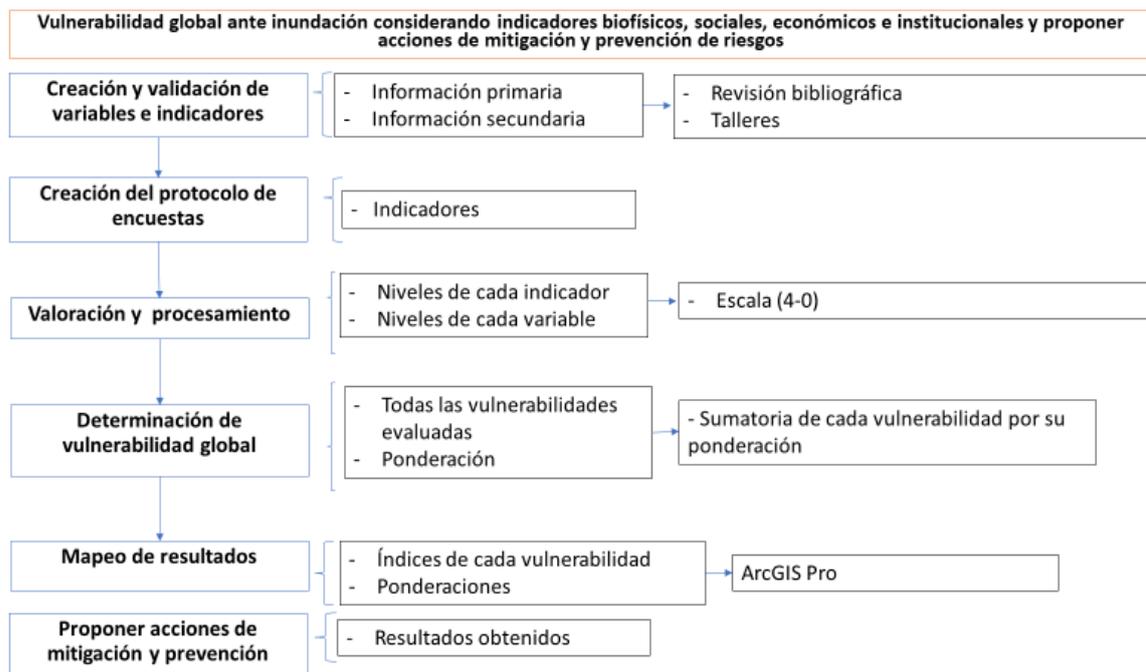


Figura 16. Resumen del proceso metodológico para obtener la vulnerabilidad global

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Modelación hidráulica

3.1.1 Selección de caudales

Se seleccionó una serie histórica de caudales máximos en el tramo de estudio (Cuadro 4) según los diferentes años, para obtener los caudales a utilizar en la modelación hidráulica en HEC-RAS, dado los diferentes periodos de retornos.

Cuadro 4. Caudales máximos seleccionados (1967-1982)

AÑO	CAUDAL (m ³ /s)	AÑO	CAUDAL (m ³ /s)
1967	120.72	1975	380.10
1968	195.47	1976	165.35
1969	550.89	1977	410.56
1970	390.75	1978	210.00
1971	295.10	1979	1360.57
1972	410.94	1980	410.55
1973	205.09	1981	590.15
1974	210.38	1982	675.55

Se aplicó la distribución de Gumbel y Pearson tipo 3, utilizadas por su buen ajuste a fenómenos estocásticos hidrológicos e hidráulicos. Se obtuvo mejor ajuste con la distribución de Pearson tipo 3, por lo tanto, fueron los caudales introducidos en HEC-RAS según la probabilidad de ocurrencia y el periodo de retorno (Cuadro 5).

Cuadro 5. Caudales seleccionados para la modelación hidráulica

P	Tr	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
%	años	Dist. Gumbel	Dist. Pearson 3
4	25	1025.35	1077.64
2	50	1190.09	1285.71
1	100	1353.60	1493.78
0.5	200	1516.52	1701.86

3.1.2 Creación de la geometría del tramo en ArcGis y exportación a HEC-RAS

La geometría del río fue creada en ArcMap (eje central, riberas, líneas de flujo, secciones transversales) y luego, exportada a HEC-RAS donde se revisaron cada una de las secciones transversales, se incluyó el número el número de Manning (Anexo 6), tanto para el eje central del río (n=0.04) como para las riberas (n=0.05 árboles, n=0.10 concreto, pocos árboles, superficie de inundación por debajo de las ramas).

Una vez completa la geometría de tramo seleccionado (Figura 17), creado las estructuras hidráulicas (puentes), los números n Manning, se ingresaron los caudales seleccionados, las condiciones de borde con la pendiente del cauce (0.000568) en condiciones normales para aguas arriba y aguas abajo del tramo para todos los periodos de retornos seleccionados (Anexo 7). Se corrió el modelo y se obtuvieron los perfiles de inundaciones (Anexo 8).

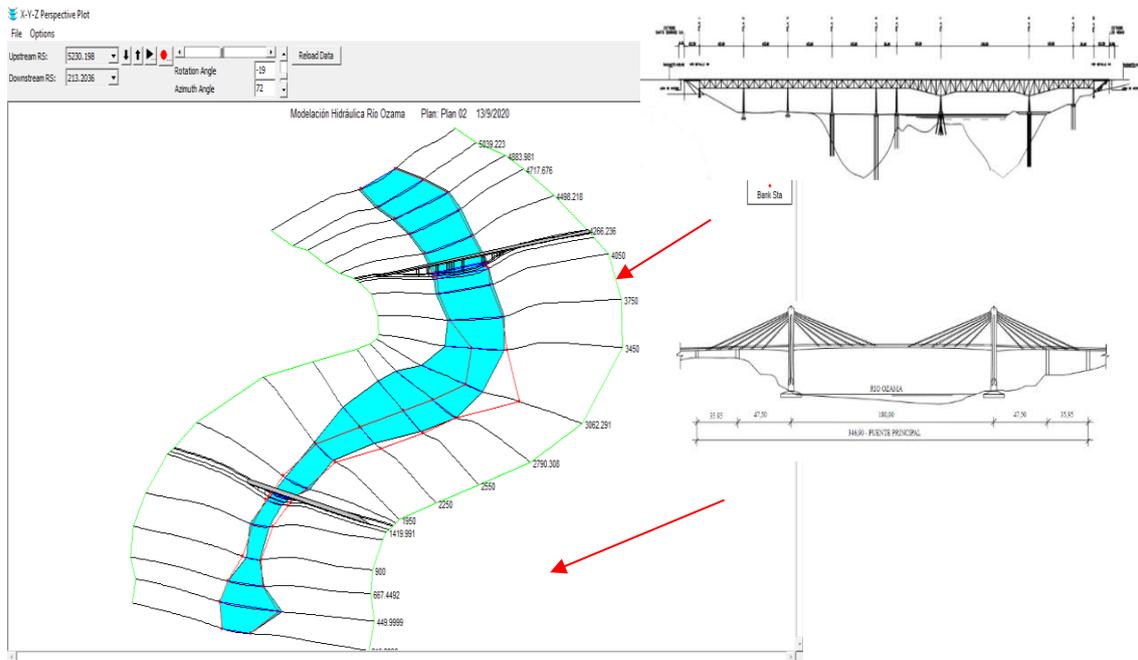


Figura 17. Geometría del río con perspectiva X-Y-Z en HEC-RAS

3.1.3 Resultados de la modelación hidráulica HEC-RAS

En la figura 18 se puede observar los perfiles de flujo según los diferentes periodos de retornos. Las secciones transversales presentan un número de Froude menor que 1, lo que caracteriza al flujo como subcrítico y sus velocidades varían desde 0.41 a 5.20 m/s. La figura 19 muestra una de las secciones transversales del perfil longitudinal del río, donde se observan las elevaciones tanto de las riberas del río como de los perfiles de inundación. En el Cuadro 6 se muestran los niveles de agua de 4 secciones ubicadas al principio, después de cada puente y al final del perfil longitudinal según los diferentes periodos de retorno donde se observa que la sección 4202.10 tiene los valores más altos en comparación con las demás secciones, lo indica que esta sección del río es más vulnerable ante la ocurrencia de inundación.

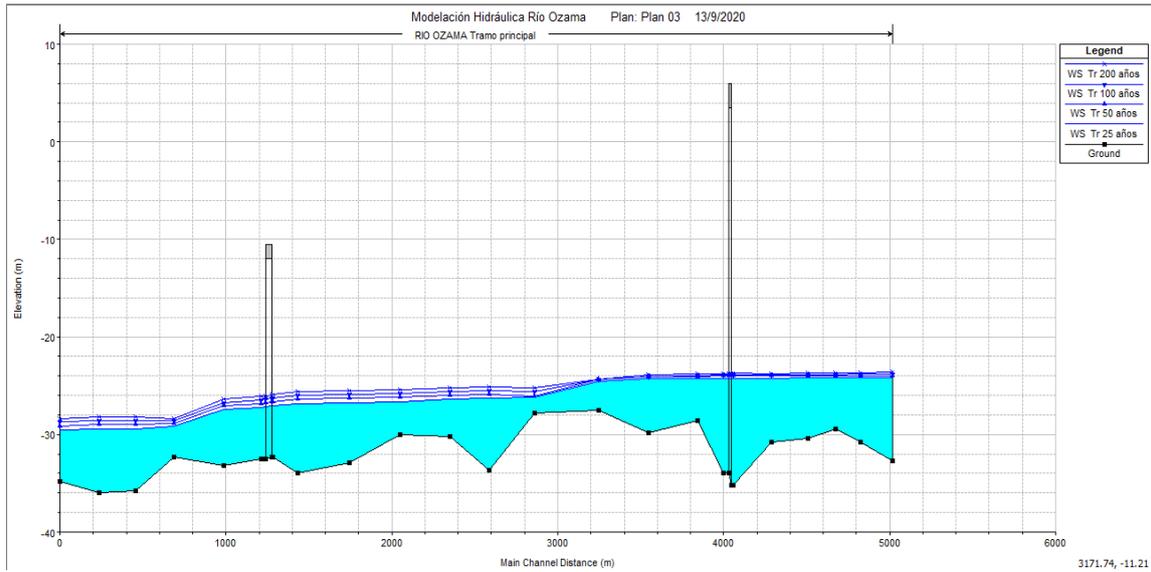


Figura 18. Perfiles de flujo según los diferentes periodos de retorno

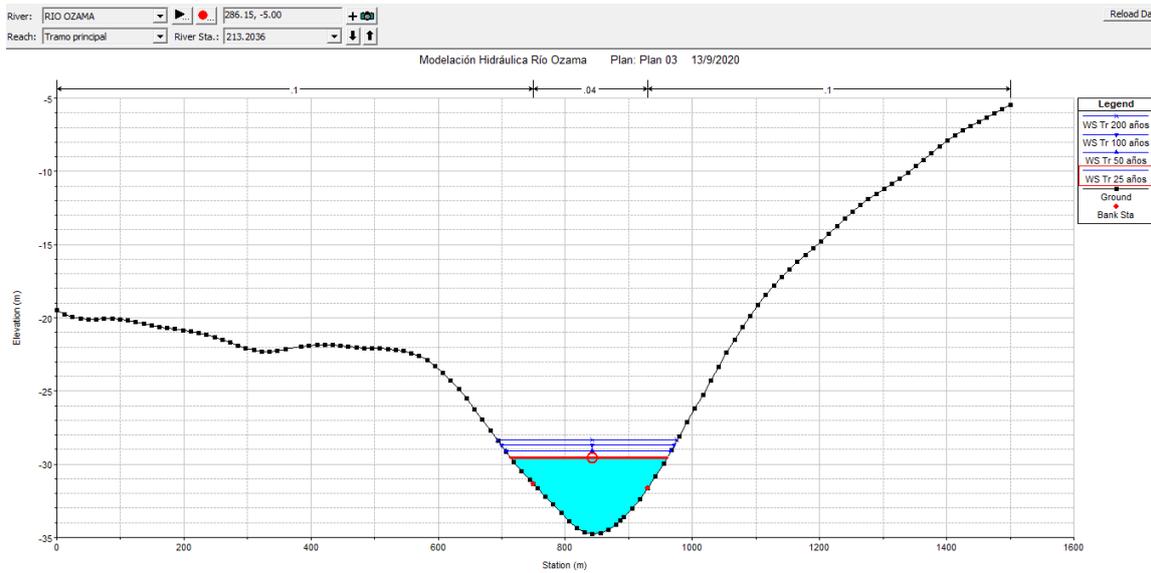


Figura 19. Sección transversal 4266.24 con Tr 25, 50, 100 y 200 años

Cuadro 6. Niveles de agua de secciones a lo largo del perfil longitudinal

Estación	Periodos de retorno Tr (años)			
	25	50	100	200
5230.198	8.5	8.73	8.85	9.03
4202.101	9.72	9.94	10.04	10.2
1419.991	5.29	5.7	6.06	6.39
213.2036	5.25	5.68	6.07	6.45

3.1.4 Áreas de inundación según los diferentes periodos de retorno (25, 50, 100, 200)

Se evidencia que el área de la superficie inundada no varía tanto según los diferentes periodos de retorno y lo caudales seleccionados a pesar de la inundación producida (Cuadro 7). Aunque según estudios realizados en la zona el río Ozama tiene la característica de inundarse con bajos caudales (557.25 m³/s), lo mismo ocurre con caudales mayores (los seleccionados para el estudio). Dentro de las comunidades más amenazadas, dada la ocurrencia de los eventos modelados, se encuentra Domingo Savio y Los Tres Brazos con gran parte de sus territorios afectados, seguidos de Gualey con partes afectadas no tan grandes, luego Los Minas Sur y Ensanche Ozama, con inundaciones cercanas a las laderas del río en gran parte y Villa Francisca, Ciudad Colonial y Villa Duarte con áreas inundadas cercanas a laderas en menor parte.

Cuadro 7. Velocidades, áreas y comunidades afectadas

Periodo de retorno Tr (años)	Probabilidad de ocurrencia (%)	Caudal (m ³ /s)	Velocidades (m/s)	Área inundada (km ²)	Comunidades afectadas
25	4	1077.64	0.41-4.57	1.65	Domingo Savio, Los Tres Brazos
20	2	1285.71	0.48-4.79	1.70	Gualey
100	1	1493.78	0.55-4.97	1.74	Las Minas Sur, Ensanche Ozama
200	0.5	1701.86	0.61-5.2	1.77	Villa Francisca, Ciudad Colonial y Villa Duarte

3.1.5 Planicies de inundación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos y sus análisis para determinar los lugares afectados según las planicies de inundación obtenidas con la modelación hidráulica para los periodos de retorno 25, 50, 100, 200 años (Figuras 20, 21, 22 y 23).

Perfil de inundación con un periodo de retorno de 25 años en la parte baja de la cuenca de Río Ozama, República Dominicana

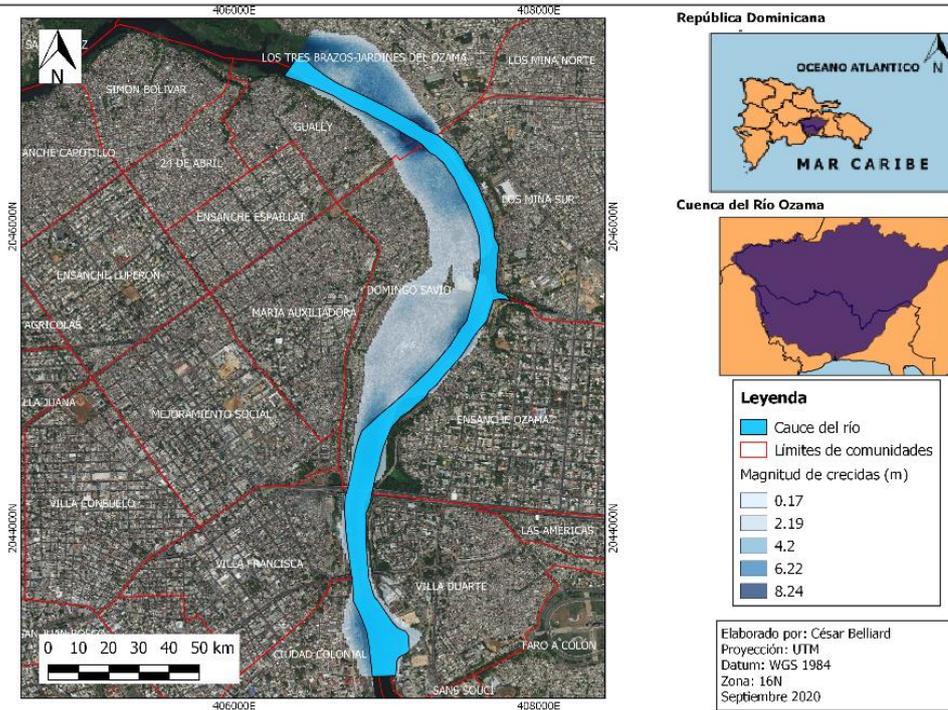


Figura 20. Amenaza a inundación para un Tr 25 años

Perfil de inundación con un periodo de retorno de 50 años en la parte baja de la cuenca de Río Ozama, República Dominicana

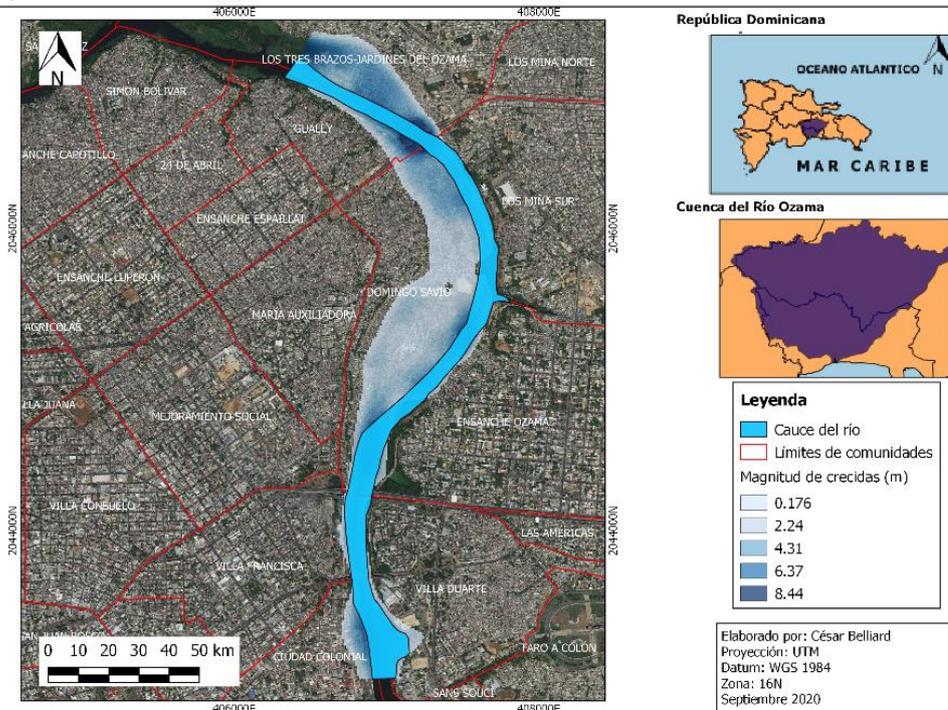


Figura 21. Amenaza a inundación para un Tr 50 años

Perfil de inundación con un periodo de retorno de 100 años en la parte baja de la cuenca de Río Ozama, República Dominicana

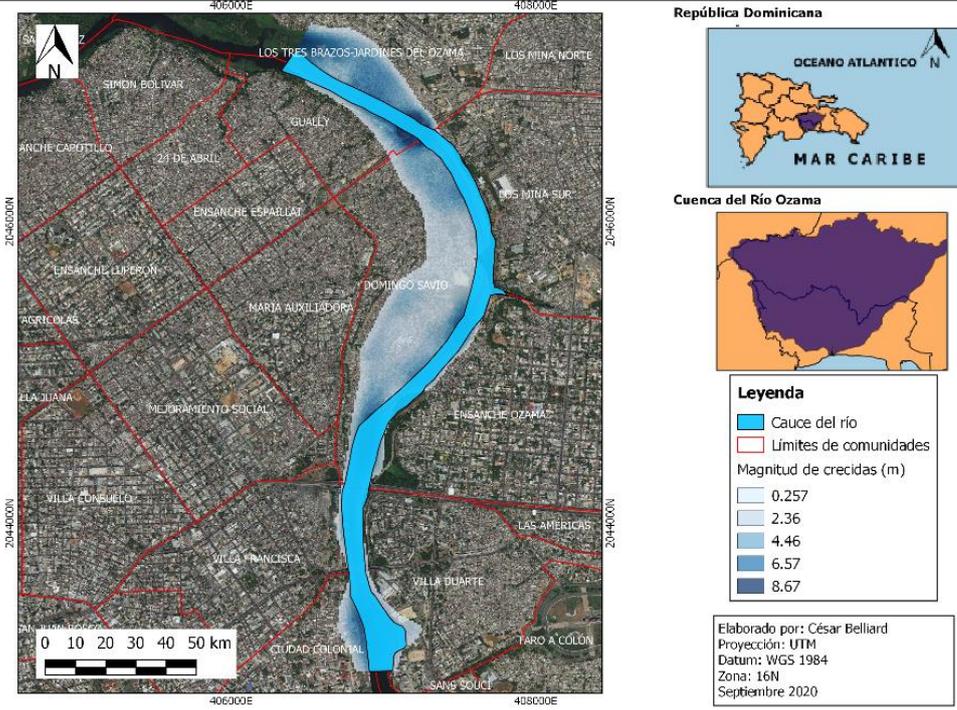


Figura 22. Amenaza a inundación para un Tr 100 años

Perfil de inundación con un periodo de retorno de 200 años en la parte baja de la cuenca de Río Ozama, República Dominicana

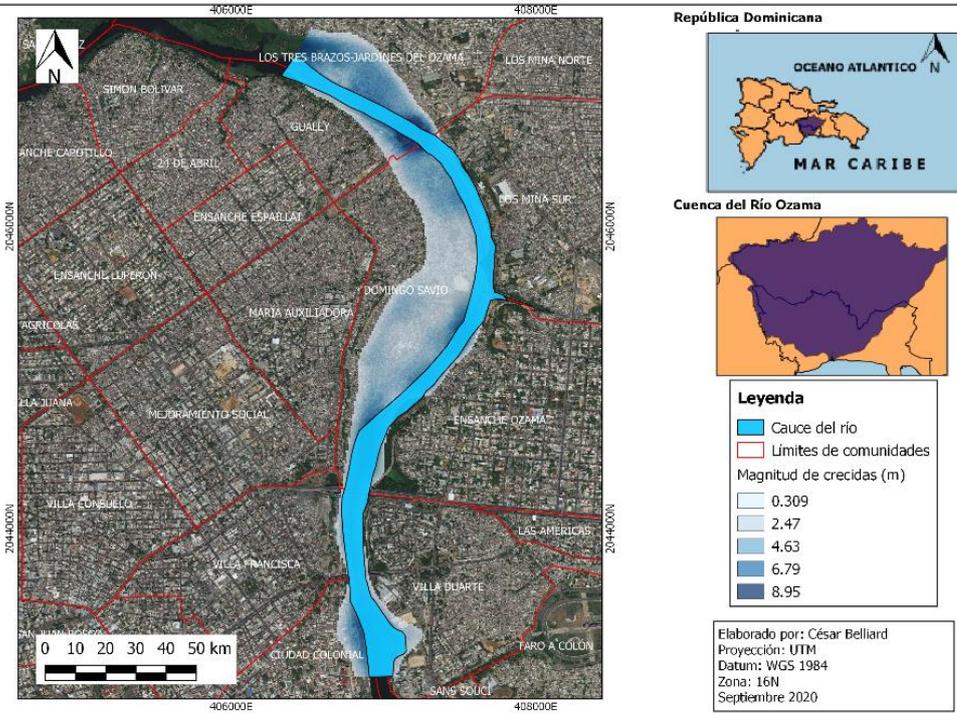


Figura 23. Amenaza a inundación para un Tr 200 años

La modelación hidráulica realizada y los resultados observados de la salida del modelo para cada periodo de retorno (Anexo 9), las variables que presenta son: nombre del tramo, estaciones, perfil (Tr), caudales (m^3/s), elevación mínima del canal (m), elevación de la superficie de agua (m), calado crítico (m), elevación de línea de energía (m), pendiente de la línea de energía (m/m), velocidad del canal (m/s), área del flujo (m^2), espejo de agua (m) y número de Froude.

Según los mapas de amenazas a inundación el tramo de estudio y el resultado mostrado en Anexo 9, el tramo seleccionado del río Ozama posee un flujo subcrítico con el número de Froude menor a 1 en todas las secciones transversales. El tramo seleccionado presenta un bajo nivel de energía, cauce relativamente ancho y bajas velocidades entre las secciones transversales por pendientes suave (menor 1%) condiciones que favorecen a la población al momento de producirse una inundación repentina. El tramo seleccionado es altamente amenazado ante la ocurrencia de inundaciones según los 4 periodos de retorno seleccionados, donde la comunidad Domingo Sabio, ubicada en Santo Domingo Norte, y la comunidad Gualey, Santo Domingo Este, son las más amenazadas debido a la gran área que ocupa la inundación, seguido de las comunidades Los Minas Sur, Ensanche Ozama, Villa Francisca, Ciudad Colonial y Villa Duarte con un área afectada menor.

Lo anterior mencionado coincide con Mesa (2018), la cual indica que el mismo tramo es altamente sensitivo a elevaciones repentinas. También coincidimos que existe poca variación del área de inundación entre los diferentes periodos de retorno, es decir, la altura que aumenta al aumentar el caudal es relativamente pequeña. Mesa (2010) indica que la llanura de inundación se expande rápidamente tras la ocurrencia de las inundaciones, lo que es contrario a nuestros resultados, debido a que las velocidades son relativamente bajas al igual que las pendientes, las inundaciones que ocurren, aunque sean repentinas, la planicie de inundación no se expande rápidamente.

A pesar de que el aumento de los caudales es considerable según los diferentes periodos de retornos, el aumento de las áreas de inundación no es tan significativo, provocando en un aumento de $624.22 m^3/s$ en el caudal modelado, produzca tan solo $0.12 km^2$ de área adicional en la planicie de inundación, con poca variación en la velocidad y en la profundidad de inundación. Lo que indica que la geometría del río y sus condiciones de entorno no tienen capacidad para soportar avenidas máximas, ya que se inunda con periodos de retornos bajos como el Tr 25 años, produciendo aumentos relativamente pequeños según los demás periodos de retorno. Esto da la impresión de que las grandes avenidas con caudales mayores producirían un área de inundación similar a la de este estudio, colocando la ubicación de las comunidades en una zona altamente amenazada.

3.2 Vulnerabilidad global

Para determinar la vulnerabilidad global a inundaciones en el tramo de estudio seleccionado se elaboraron encuestas, que se aplicaron de manera aleatoria, a la población. En total fueron 71 encuestas, distribuidas de la siguiente manera: 20 en Gualey, 18 en Domingo Savio, 11 en Los 3 Brazos, 12 en Los Minas Sur y 9 en Ensanche Ozama. De los entrevistados, el 55% (39) fueron hombres y el 45% (32) mujeres. Estos tienen viviendo en las riberas del río Ozama entre 3 y 66 años.

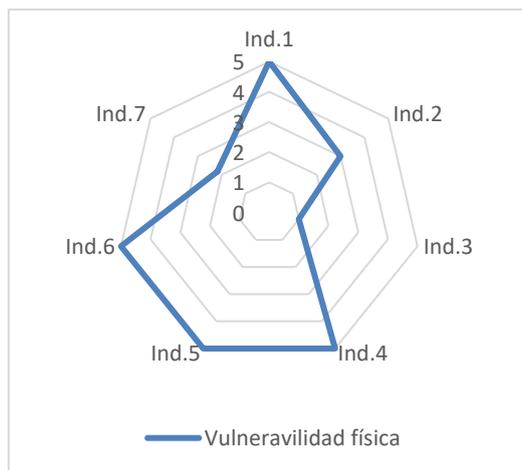
Según los datos obtenidos de las encuestas realizadas, en todas las comunidades evaluadas la vulnerabilidad ecológica obtuvo una caracterización de vulnerabilidad Muy Alta, lo cual evidencia el grado de degradación de las riberas y las superficies adyacentes a las riberas del río Ozama en el tramo de estudio. Según estudios realizados, esto se debe a la gran cantidad de asentamientos humanos en las orillas de los ríos. Por otra parte, la vulnerabilidad cultural obtuvo una caracterización de vulnerabilidad Muy Baja en todas las comunidades evaluadas, lo que evidencia el alto grado de compromiso y la disposición para trabajar en equipo en asuntos de prevención y mitigación del riesgo a inundación, así como también, perciben la importancia de tema de inundaciones en la zona. Mientras que las demás vulnerabilidades evaluadas se caracterizan con vulnerabilidad Alta en gran cantidad, Media y Baja en menor cantidad (ver gráficos aluviales Anexo 10).

3.2.1 Análisis de cada tipo de vulnerabilidad

a) Vulnerabilidad física

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad física									
	Promedio de los indicadores validados								%	Caracterización
	Ind.1	Ind.2	Ind.3	Ind.4	Ind.5	Ind.6	Ind.7	Prom.		
Vulnerabilidad física	5.00	3.00	1.00	5.00	5.00	5.00	2.18	3.74	75%	Alta

Ind 1: Número de edificaciones, Ind 2: Número de estructuras por tipo de construcción, Ind 3: Número de puentes con capacidad hidráulica, Ind.4: Número de viviendas en mal estado, Ind 5: Número de Infraestructuras existentes, Ind 6: Número de viviendas ubicadas entre 0 y 160 mts, Ind 7: Número de meses con accesibilidad durante el año



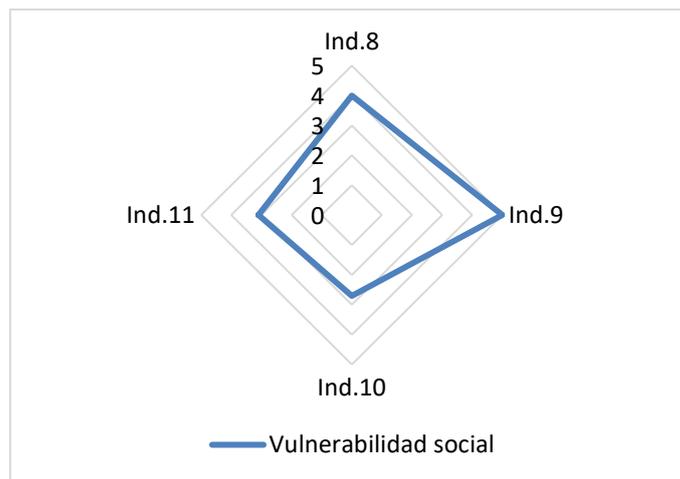
Ind 1: Número de edificaciones, Ind 2: Número de estructuras por tipo de construcción, Ind 3: Número de puentes con capacidad hidráulica, Ind.4: Número de viviendas en mal estado, Ind 5: Número de Infraestructuras existentes, Ind 6: Número de viviendas ubicadas entre 0 y 160 mts, Ind 7: Número de meses con accesibilidad durante el año

El escenario actual relacionado con la vulnerabilidad física muestra un valor promedio de 3.74 (75%) caracterizada como vulnerabilidad alta, sobresaliendo los indicadores 1, 4, 5 y 6 con la valoración máxima de vulnerabilidad (5.00), seguido de Ind.2 (3.00), Ind.7 (2.18) e Ind.3 (1.00). Esto sugiere que las acciones prioritarias deben estar dirigidas a: 1) regular los asentamientos humanos en zonas de inundación, estableciendo una distancia mínima para la construcción de viviendas en las riberas del río Ozama; 2) mejorar la condición de las viviendas ubicadas en las riberas del río y el establecimiento y aplicación de protocolos de construcción; 3) Reducir el número de viviendas ubicadas en las riberas del río (entre 0-160 m), realizando desalojos de estas y reubicación de las familias afectadas (esta medida se está comenzando a implementar), así como penalizar las personas que quieran asentarse en la zona; 4) Aumentar la cantidad de infraestructuras destinadas para emergencia y/o condicionar estructuras existentes, ya que solo existe una escuela que sirve de albergue, ante la ocurrencia de una eventualidad.

b) Vulnerabilidad social

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad social						
	Promedio de los indicadores validados					%	Caracterización
	Ind.8	Ind.9	Ind.10	Ind.11	Prom.		
Vulnerabilidad social	4.00	5.00	2.70	3.10	3.70	74%	Alta

Ind. 8: Número de organizaciones e instituciones activas relacionadas con la gestión del riesgo, Ind. 9: El % de las familias, que viven en zonas de riesgo, Ind. 10: Ubicación de los centros de salud, Ind. 11: Acceso a radio, teléfono, tv e internet.



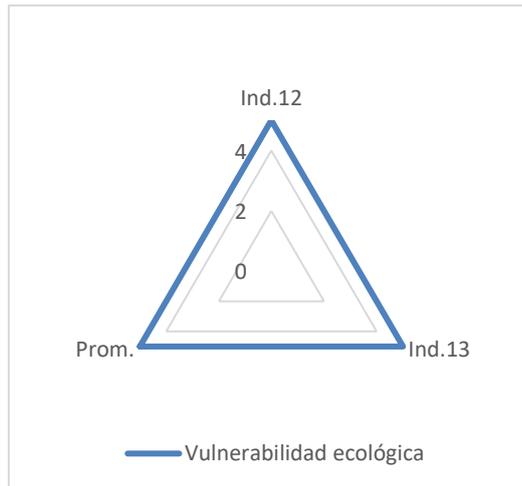
Ind. 8: Número de organizaciones e instituciones activas relacionadas con la gestión del riesgo, Ind. 9: El % de las familias, que viven en zonas de riesgo, Ind. 10: Ubicación de los centros de salud, Ind. 11: Acceso a radio, teléfono, tv e internet.

En relación con el escenario que presenta la vulnerabilidad social, esta muestra un valor promedio de 3.70 (74%), que corresponde a la caracterización de vulnerabilidad alta. El Ind. 9 el que más sobresale con la valoración máxima de vulnerabilidad (5), seguido de Ind. 8 (4.00), el Ind. 10 (2.70) y el Ind. 11 (3.10). Estos resultados indican que un alto porcentaje de las familias que viven en la zona de riesgo no poseen planes familiares de emergencia ante la ocurrencia de inundación, lo que produce acciones de improvisación cuando ocurre una eventualidad, agravando esto el riesgo a ser afectado negativamente. Se evidencia la baja cantidad de organizaciones activas existentes en la zona de estudio, relacionadas con la gestión del riesgo. En este caso, todos coinciden que solo existe una organización (Defensa Civil). La ubicación de centro de salud muestra vulnerabilidad baja, mientras que el acceso a la comunicación presenta vulnerabilidad media, ya que las personas entrevistadas tienen al menos un radio.

c) Vulnerabilidad ecológica

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad ecológica				
	Promedio de los indicadores validados				Caracterización
	Ind.12	Ind.13	Prom.	%	
Vulnerabilidad ecológica	5.00	5.00	5.00	100%	Alta

Ind. 12: Grado de degradación de la superficie por deforestación, Ind. 13: % longitudinal de franja ribereña



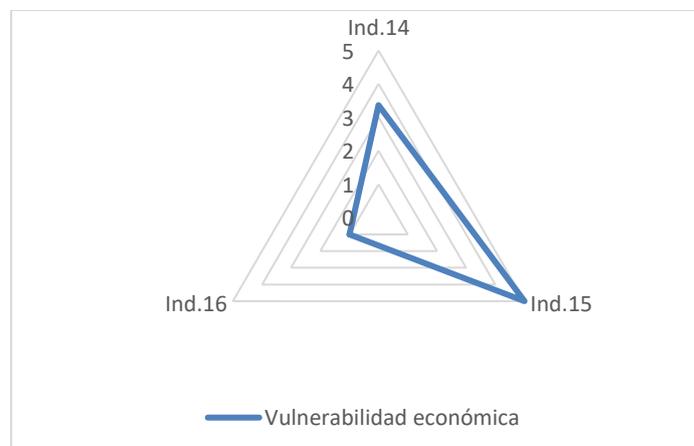
Ind. 12: Grado de degradación de la superficie por deforestación, Ind. 13: % longitudinal de franja ribereña

Para el escenario que muestra la vulnerabilidad ecológica, se obtuvo un valor promedio de 5 (100%), que corresponde a una vulnerabilidad muy alta. Esto indica que las acciones a priorizar deben estar dirigidas a: 1) restauración de la superficie y franjas ribereñas, acción que puede corregir tras el desalojo de las personas ubicadas en las orillas del río Ozama. Esta característica es propia de zonas urbanas, donde personas eliminan la zona verde para asentarse en esos lugares. En este caso, se evidencia que personas están invadiendo territorio de la zona de amortiguamiento o zona ribereña que desempeña importantes funciones ecológicas.

d) Vulnerabilidad económica

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad económica						
	Promedio de los indicadores validados					%	Caracterización
	Ind.14	Ind.15	Ind.16	Prom.			
Vulnerabilidad económica	3.37	5.00	1.00	3.12	62%	Alta	

Ind. 14: Ingreso mensual, Ind. 15: Porcentaje de habitantes desempleados, Ind. 16: Porcentaje de habitantes que no tiene acceso a servicios públicos



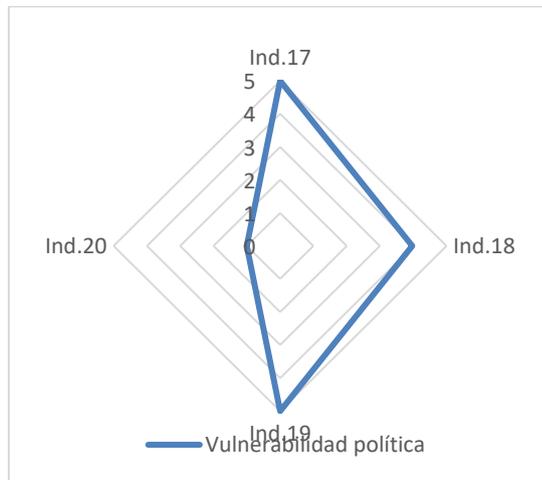
Ind. 14: Ingreso mensual, Ind. 15: Porcentaje de habitantes desempleados, Ind. 16: Porcentaje de habitantes que no tiene acceso a servicios públicos

El escenario actual relacionado con la vulnerabilidad económica muestra un valor promedio de 3.12 (62%) caracterizada como vulnerabilidad alta. El Ind. 15 tuvo la valoración de vulnerabilidad más alta (5.00), seguido de Ind.14 (3.37), y finalmente el Ind.16 que tuvo la valoración más baja (1.00). Estos resultados indican que las acciones a priorizar deben estar dirigidas a: 1) aumentar el nivel de empleo, creando fuente de trabajo para que los habitantes de las riberas del río Ozama tengan una mejor economía, les permita tener mejores condiciones de vida y ser menos vulnerables ante la ocurrencia de una eventualidad. Los resultados muestran que un alto porcentaje (>80%) de las personas encuestadas tienen acceso a servicios públicos. El presupuesto asignado por el municipio y el Estado a la prevención del riesgo a inundaciones no pudo ser evaluado, ya que no se tuvo acceso a la información.

e) Vulnerabilidad política

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad política						
	Promedio de los indicadores validados						
	Ind.17	Ind.18	Ind.19	Ind.20	Prom.	%	Caracterización
Vulnerabilidad política	5.00	3.97	5.00	1.00	3.74	75%	Alta

Ind. 17: Grado de cumplimiento de normativa ambiental, Ind. 18: Grado de relevancia para los tomadores decisiones del problema de inundaciones, Ind. 19: Número de proyectos ejecutados por año, Ind. 20: Porcentaje de líderes que tiene la comunidad para representarlos



Ind. 17: Grado de cumplimiento de normativa ambiental, Ind. 18: Grado de relevancia para los tomadores decisiones del problema de inundaciones, Ind. 19: Número de proyectos ejecutados por año, Ind. 20: Porcentaje de líderes que tiene la comunidad para representarlos

En relación con el escenario que presenta la vulnerabilidad política, esta muestra un valor promedio de 3.74 (75%), lo que la caracteriza como vulnerabilidad alta. Los indicadores 17 y 19 presentaron una valoración máxima de vulnerabilidad (5), seguidos de Ind. 18 (3.97) y finalmente, el Ind. 20 con la valoración mínima (1.00). Esto indica que existe un grado bajo de cumplimiento de normativas ambientales para reducir el riesgo a inundación y está orientado a incentivar el apoyo gubernamental para aumentar

el número de proyectos relacionados a la problemática de inundación. Para realizar las acciones descritas anteriormente se puede utilizar el liderazgo que existe en la comunidad.

f) Vulnerabilidad ideológica

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad ideológica			
	Promedio de los indicadores validados			Caracterización
	Ind.21	Prom.	%	
Vulnerabilidad ideológica	3.00	3.00	60%	Media

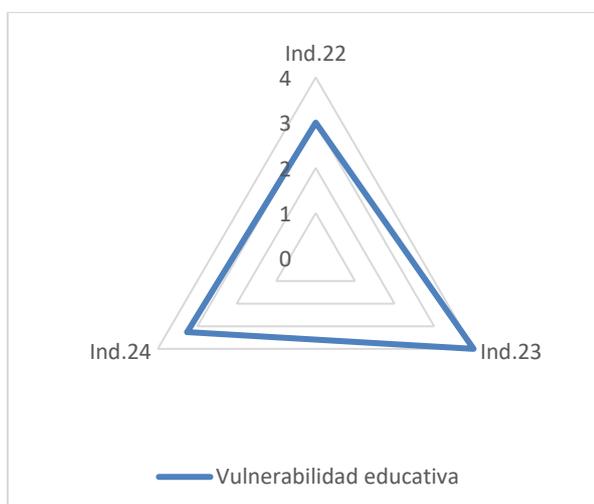
Ind. 21: Porcentaje de la población que considera que las inundaciones ocurren porque Dios así lo tiene destinado

En relación con el escenario que presenta la vulnerabilidad ideológica, esta muestra un valor promedio de 3.00 (60%), caracterizada como vulnerabilidad media. Cerca del 30% de las personas encuestada consideran que las inundaciones ocurren porque Dios así lo tiene destinado o porque simplemente tienen que ocurrir. Esta situación provoca que estas personas sean más vulnerables ante la ocurrencia de una eventualidad de inundación y aumenta el grado de verse afectados negativamente por la misma.

g) Vulnerabilidad educativa

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad educativa					
	Promedio de los indicadores validados			Prom.	%	Caracterización
	Ind.22	Ind.23	Ind.24			
Vulnerabilidad educativa	3.00	4.00	3.25	3.42	68%	Alta

Ind. 22: % de la población que vive en zona de riesgo, Ind. 23: Número de eventos anuales de capacitación, Ind. 24: % de analfabetismo



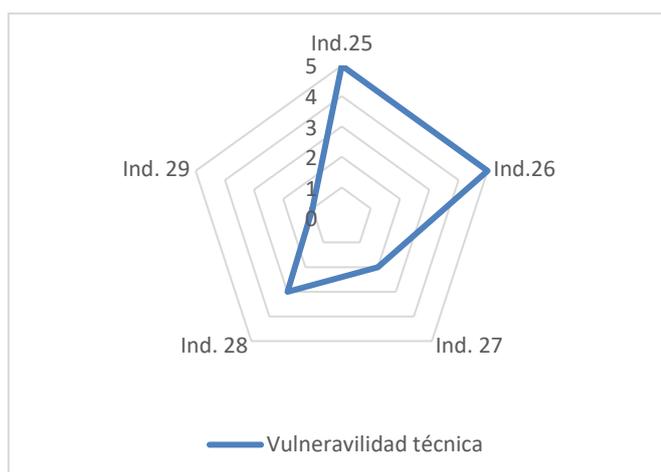
Ind. 22: % de la población que vive en zona de riesgo, Ind. 23: Número de eventos anuales de capacitación, Ind. 24: % de analfabetismo

El escenario actual relacionado a la vulnerabilidad educativa muestra un valor promedio de 3.42 (68%), caracterizada entonces como vulnerabilidad alta. El Ind.23 tuvo la valoración más alta (4.00), seguido de Ind.22 (3.00) y finalmente, el Ind.24 (3.25). Esto indica que las acciones a priorizar deben estar dirigidas a aumentar la frecuencia de capacitación en temas relacionados con la gestión de riesgo e inundaciones.

h) Vulnerabilidad técnica

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad técnica							
	Promedio de los indicadores validados							
	Ind.25	Ind.26	Ind. 27	Ind. 28	Ind. 29	Prom.	%	Caracterización
Vulnerabilidad técnica	5.00	5.00	2.00	3.00	1.00	3.20	64%	Alta

Ind. 25: % de la infraestructura con técnicas adecuadas de construcción, Ind. 26: Disponibilidad de equipos, Ind. 27: % de obras hidráulicas con capacidad, Ind. 28: Frecuencia de mantenimiento de obras hidráulicas, Ind. 29: % de puentes en buen estado



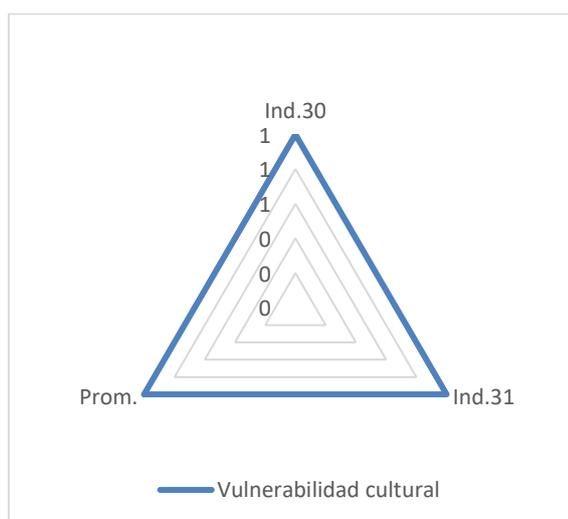
Ind. 25: % de la infraestructura con técnicas adecuadas de construcción, Ind. 26: Disponibilidad de equipos, Ind. 27: % de obras hidráulicas con capacidad, Ind. 28: Frecuencia de mantenimiento de obras hidráulicas, Ind. 29: % de puentes en buen estado

El escenario actual relacionado con la vulnerabilidad técnica muestra un valor promedio de 3.20 (64%), que corresponde a vulnerabilidad alta. Los indicadores 25 y 26 tuvieron la valoración máxima de vulnerabilidad (5.00), seguido del Ind.28 (3.00), Ind.27 (2.00) y, por último, el Ind.29 con la valoración mínima (1.00). Estos resultados indican que las acciones a priorizar deben estar dirigidas a: 1) controlar las técnicas de construcciones en la zona de riesgo, aumentando el porcentaje de infraestructuras con técnicas adecuadas de construcción; 2) gestionar la disponibilidad de equipos para prevenir o mitigar el riesgo ante la ocurrencia de inundaciones. 3) aumentar la frecuencia de capacitación en temas relacionados con la gestión de riesgo e inundaciones.

i) Vulnerabilidad cultural

Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad cultural				
	Promedio de los indicadores validados				
	Ind.30	Ind.31	Prom.	%	Caracterización
Vulnerabilidad cultural	1.00	1.00	1.00	20%	Muy Baja

Ind. 30: % de la población dispuesta a trabajar en equipo, Ind. 31: % de la comunidad que no percibe como una situación importante el riesgo a inundaciones



Ind. 30: % de la población dispuesta a trabajar en equipo, Ind. 31: % de la comunidad que no percibe como una situación importante el riesgo a inundaciones

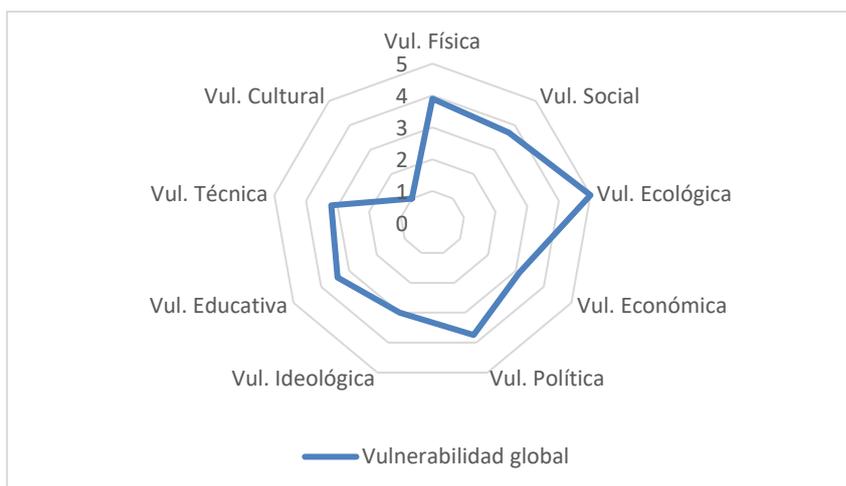
El escenario actual relacionado con la vulnerabilidad cultural muestra un valor promedio de 1.00 (20%) caracterizada como vulnerabilidad muy baja, sobresaliendo los indicadores Ind.30 e Ind.31 con la valoración mínima de vulnerabilidad (1.00). Esto demuestra que: 1) un alto porcentaje de la población está dispuesta a trabajar en equipo acción que debe ser aprovechada para aumentar la integración intercomunal para la prevención del riesgo ante la ocurrencia de una eventualidad; 2) que la población si percibe como una situación importante el riesgo a inundaciones.

3.2.2 Análisis de Vulnerabilidad global

La vulnerabilidad global se obtuvo realizando un promedio de todos los indicadores debido a la variabilidad entre números de indicadores (de uno a ocho) de cada tipo de vulnerabilidad, lo cual limitaba mantener la ortogonalidad de los datos al momento de hacer el análisis por tipo de vulnerabilidad.

Se puede observar los resultados de los porcentajes de cada vulnerabilidad (Figura 24), así como también el mapeo de los resultados en la zona de estudio con los indicadores sin ponderar (Figura 25) y ponderados (Figura 26).

Tipo de vulnerabilidad	Promedio por vulnerabilidad (1-5)	Vulnerabilidad existente (%)	Caracterización de vulnerabilidad (Muy baja-Muy alta)	Promedio	Valor máximo	Vulnerabilidad Global %	Caracterización Vulnerabilidad Global
Vul. Física	3.90	78%	Alta	3.34	5.00	66.85	Alta
Vul. Social	3.70	74%	Alta				
Vul. Ecológica	5.00	100%	Muy Alta				
Vul. Económica	3.12	62%	Alta				
Vul. Política	3.74	75%	Alta				
Vul. Ideológica	3.00	60%	Media				
Vul. Educativa	3.42	68%	Alta				
Vul. Técnica	3.20	64%	Alta				
Vul. Cultural	1.00	20%	Muy Baja				



El escenario actual relacionado con la vulnerabilidad global muestra un valor promedio de 3.34/5(66.85%) caracterizada como vulnerabilidad alta, sobresaliendo la vulnerabilidad ecológica con la valoración máxima (5.00) correspondiente a vulnerabilidad muy alta, seguida de Vul. física (3.90), Vul. social (3.70), Vul. política (3.74), Vul. educativa (3.42) y Vul. técnica (3.20) y Vul. económica (3.12), para una valoración de vulnerabilidad alta; le sigue Vul. ideológica (3.00) correspondientes a vulnerabilidad media y, por último, Vul. cultural con la valoración mínima (1.00), correspondiente a vulnerabilidad muy baja.

Se realizaron los mismos cálculos tomando en cuenta las ponderaciones de cada tipo de vulnerabilidad

Tipo de vulnerabilidad	Promedio por vulnerabilidad (1-5)	Vulnerabilidad existente (%)	Caracterización de vulnerabilidad (Muy baja-Muy alta)	Ponderación	Valor máximo	Vulnerabilidad Global
Vul. Física	3.90	75%	Alta	0.20	5.00	15.6
Vul. Social	3.70	74%	Alta	0.10		7.4
Vul. Ecológica	5.00	100%	Muy Alta	0.10		10.0
Vul. Económica	3.12	62%	Alta	0.10		6.2
Vul. Política	3.74	75%	Alta	0.10		7.5
Vul. Ideológica	3.00	60%	Media	0.05		3.0
Vul. Educativa	3.42	68%	Alta	0.10		6.8
Vul. Técnica	3.20	64%	Alta	0.20		12.8
Vul. Cultural	1.00	20%	Muy Baja	0.05		1.0
					Vulnerabilidad Global %	70.4%
					Caracterización Vulnerabilidad Global	Alta

Al realizar los cálculos para determinar la vulnerabilidad global tomando en cuenta las ponderaciones obtenidas se obtuvo el valor de 70.4% para una caracterización de vulnerabilidad global alta (60-80%). Observando que se realizó el mismo cálculo sin tomar en cuenta las ponderaciones, obteniendo un valor de 66.85% para una caracterización de vulnerabilidad global Alta (60-80%). Se llega a la conclusión que no existe significancia entre los datos que genere un cambio en el resultado final.



Figura 24. Resultado de vulnerabilidades evaluadas (%)

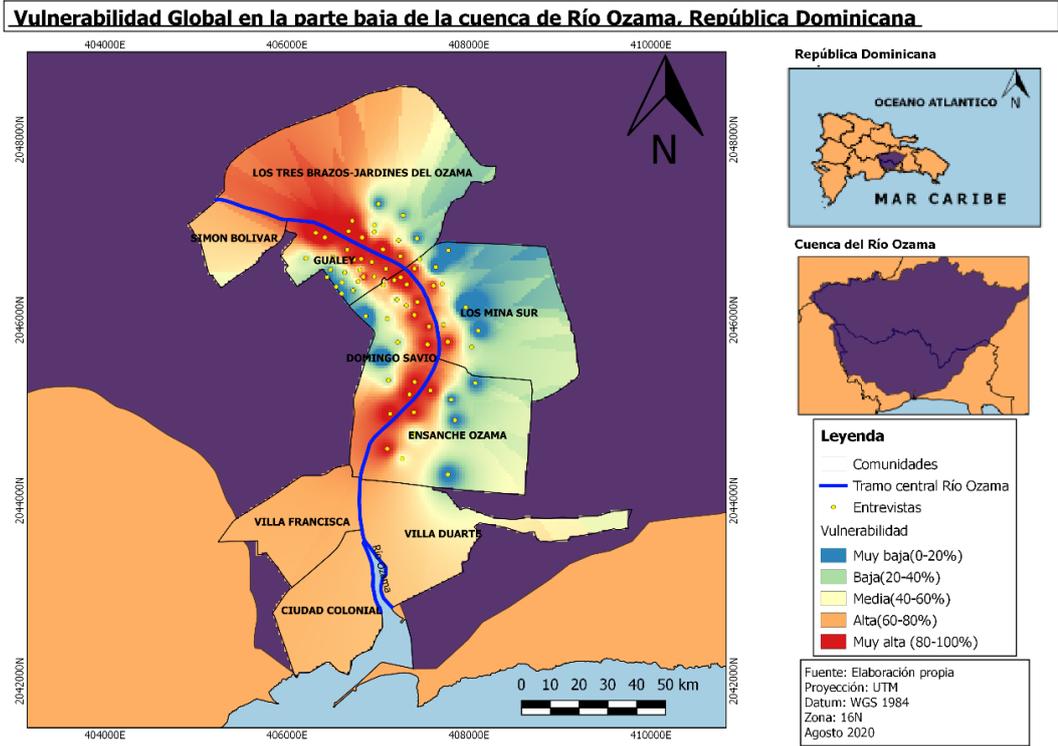


Figura 25. Vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones sin ponderación de vulnerabilidades

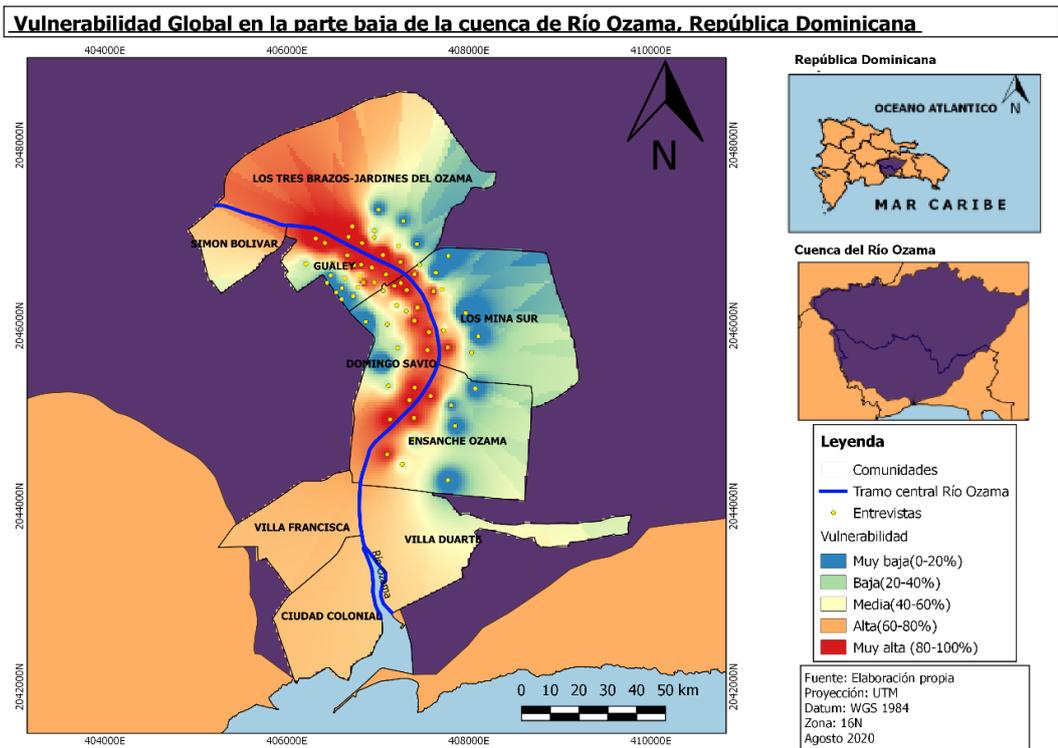


Figura 26. Vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones con ponderación de vulnerabilidades

Los resultados de la vulnerabilidad global colocan las comunidades Gualey y Domingo Savio como las más vulnerables, presentado gran parte de su territorio con vulnerabilidad alta (80-100%) según los indicadores evaluados (Figura 32). Esto se debe a los bajos niveles socioeconómicos de los hogares adyacente a la ribera del río, los resultados encontrados coinciden con el estudio socioeconómico de Torres (2014), el cual afirma que las comunidades mencionadas poseen las peores condiciones por ser los que tienen menor porcentaje de familias ubicadas en un estrato medio-alto comparando los niveles socioeconómicos del año 2002 con el 2010. En el estudio mencionado las mismas comunidades presentan los niveles más altos en los porcentajes de hogares pobres, según la comparación de los mapas de pobreza del año 2005 y 2010 de República Dominicana.

Los hallazgos de este estudio son contrarios a lo establecido en la Ley No. 147-02 sobre gestión de riesgos, donde se especifica en los artículos 5 y 17, la necesidad de crear organismos para la prevención y mitigación de riesgo, así como también el apoyo institucional a las zonas vulnerables y la existencia de planes de emergencia ante la ocurrencia de amenazas, lo cual no se encontró en el estudio realizado. Así como también el artículo 18 relacionado con el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano, asigna a los organismos de planificación nacional, regional, provincial y municipal, sin asignar un responsable de la gestión de riesgo en la zona, quedando una responsabilidad compartida, que al final ninguno la acepta como suya y por tanto, no lo toma en cuenta en sus planes de gobierno.

4. CONCLUSIONES

El análisis realizado acerca de la amenaza a inundaciones en el tramo seleccionado permite concluir lo siguiente:

- La parte baja de la cuenca del río Ozama es amenazada tras la ocurrencia de inundaciones con caudales de 1700 m³/s para periodo de retorno de 200 años y una probabilidad de ocurrencia de 0.5% llegando a producir una planicie de inundación de 1.77 km², área directamente proporcional al aumento del caudal. Los últimos 5.4 km de la cuenca es caracterizado por tener un flujo subcrítico (No. de Froude < 1), lo cual se debe a las pendientes suaves presente en el tramo (menor 1%) y cauce relativamente ancho. Esto contribuye a que, las elevaciones de nivel de agua, aunque sean repentinas, el nivel de energía sea bajo con velocidades menor 5.2 m/s, condiciones que favorecen a la población al momento de producirse un evento de inundación.
- Las comunidades Domingo Sabio y Gualey, ubicadas en Santo Domingo Norte (margen derecho), son las más amenazadas debido a la gran área que ocuparía la inundación ocurrida con magnitudes de crecidas que varían desde 0.17 a 2.47 m sobre el tirante normal del río. Las comunidades Los Minas Sur, Ensanche Ozama, Villa Francisca, Ciudad Colonial y Villa Duarte presentan un área afectada menor,

dado caudales picos producto de la ocurrencia de eventos de precipitación extremos como fue el caso del ciclón David en 1979.

El análisis realizado para evaluar la vulnerabilidad global a inundaciones en el tramo seleccionado permite concluir lo siguiente:

- La vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones que presenta la cuenca de río Ozama (parte baja) es Alta (70.4%). Vulnerabilidad que va en aumento tras la alta tasa de asentamiento humano, realizando diferentes tipos de construcciones en la planicie de inundación., alterando así, la ribera de río y aumento de la vulnerabilidad ecológica degradando la superficie. La vulnerabilidad física y política requieren de atención (75%), es necesario que regulen las construcciones adyacentes a las riberas, así como también regular el cumplimiento de las normativas ambientales y la integración del gobierno con los actores clave.
- El escenario actual de la vulnerabilidad global muestra indicadores con valoración muy alta (5), sobresaliendo los indicadores 1, 4, 5, 9, 12, 15, 17 y 19. Esto sugiere que las acciones prioritarias deben estar dirigidas a: 1) regular los asentamientos humanos en zonas de inundación, estableciendo una distancia mínima para la construcción de viviendas en las riberas del río Ozama; 2) mejorar la condición de las viviendas ubicadas en las riberas del río; 3) aumentar la cantidad de infraestructuras destinadas para emergencia y/o condicionar estructuras existentes; 4) restauración de la superficie y franjas ribereñas; 5) aumentar el nivel de empleo; 6) aumentar el grado de cumplimiento de normativas ambientales para reducción del riesgo a inundación; 7) fortalecer el apoyo gubernamental y 8) para aumentar el número de proyectos relacionados a la problemática de inundación.

6. RECOMENDACIONES

- Para futuras modelaciones hidráulica se recomienda utilizar una mayor resolución del modelo de elevación digital (MED), ya sea con curvas de nivel o batimetría de cauce del río, también realizar la selección de caudales mediante el análisis de tormentas ocurridas y la modelación hidrológica de la cuenca.
- Validar los indicadores evaluados con otras instituciones afines a la gestión de riesgo en la zona, como son los ayuntamientos y la mancomunidad, para tratar de igualar el número de indicadores por cada tipo de vulnerabilidad, así como también, ponderar las vulnerabilidades evaluadas.

- Reducir el número de viviendas ubicadas en las riberas del río, realizando desalojos de éstas y reubicando las familias afectadas por esta medida, especialmente en los barrios Los Guandules y La Ciénaga y Gualey. De esta manera se reduciría el grado de exposición de la población y con esta la probabilidad de verse afectados negativamente tras la ocurrencia de inundaciones.

- Aumentar la cantidad de infraestructuras destinadas para emergencia y/o condicionar estructuras existentes, ya que solo existe una escuela que sirve de albergue ante la ocurrencia de eventos relacionados con inundaciones en el margen derecho del río.

- Aumentar la capacitación en temas de prevención y mitigación de desastres con programas y proyectos a corto y largo plazo. Así como también, implementar un sistema de monitoreo de los indicadores evaluados (cada 4 años) para de esta manera cuantificar que tanto aumente o disminuya la vulnerabilidad global.

7. LITERATURA CITADA

- Acosta, R. 2015. Recuperación paisajista y ambiental de las Riberas del Río Ozama Santo Domingo, República Dominicana:
- Aleman, NJ. 2014. Impacto Económico de los Cruceros en el Turismo de Santo Domingo: 31-32. Consultado 31 julio 2019 Disponible en <http://www.competitividad.org.do/wp-content/uploads/2016/05/Impacto-Econ%C3%B3mico-de-los-Cruceros-en-el-Turismo-de-Sto-Dgo-J.pdf>
- Aquino, M. 2019. Sequías de 1997, 2015 y la actual, las más extremas en el país Diario Libre Santo Domingo, República Dominicana 11 Marzo 2019: Consultado 26 julio 2019.
- Arguello Rodríguez, GE. 1992. Modelación hidrológica continua en tiempo real de la cuenca del río Virilla, Costa Rica. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Banco Central de la República Dominicana. (2010). Encuesta Nacional de Fuerza de Trabajo. Santo Domingo: BCRD.
- Batista García, FdJ. 2015. Consideración de los huracanes en el diseño de las estructuras en la República Dominicana. Tesis Caminos.
- Bautista, F; Pacheco, A; Dubrovina, I. 2019. Climate change indicators software for computing climate change indices for agriculture Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 6(17):343-351.
- Brunner, G. 2010. HEC-RAS, River Analysis System User's Manual. EEUU, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center. 790p.
- Caraballo, J. 2016. Sequía causó pérdidas en 2015 a más de 6.2 millones de personas en Haití, República Dominicana y Cuba Listín Diario Santo Domingo, República Dominicana 27 Mayo 2016: Consultado 26 Julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/economia/sequia-causo-perdidas-en-2015-a-mas-de-6-2-millones-de-personas-en-haiti-republica-dominicana-y-cuba-KG3833972>
- Castillo, M. 2007. El Santo Domingo del Siglo XVIII a través del Libro Becerro: 43-46. Consultado 31 julio 2019
- CCNY. 2018. Análisis de Inundación para las Áreas Vulnerables de Santo Domingo Consultado 20 junio 2019 Disponible en <https://infoclimard.org/2018/02/23/analisis-de-inundacion-para-las-areas-vulnerables-de-santo-domingo/>
- CEPAL. 1998. Ciudades intermedias de América Latina y el Caribe: propuestas para la gestión urbana:
- Change, IC. 2014. Mitigation of climate change Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 1454:
- Chiro, B. 2016. Modelación hidrológica para evaluar los niveles de erosión hídrica y producción de sedimentos en diferentes usos y coberturas de la tierra y su efecto en la calidad del agua en la subcuenca del río San Francisco, cuenca del lago de Atitlán, Guatemala. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Chow, VT; Maidment, DR; Mays, LW. 1988. Applied hydrology.

- Cisneros, JM; Gil, HA; de Prada, JD; Degioanni, A; Cantero, G; Giayetto, O; Ioele, J; Madoery, O; Masino, A; Rosa, J. 2014. Estado actual, pronósticos y propuestas de control de inundaciones en el centro-este de la provincia de Córdoba Río Cuarto, Argentina:
- Clases, S. 2017. Sistemas de Alerta Temprana en República Dominicana: Consultado 18 septiembre 2019 Disponible en https://www.academia.edu/18410357/Sistemas_de_Alerta_Temprana_en_Rep%C3%BAblica_Dominicana
- Coll, MAA. 2013. Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla Scientia et technica 18(2):303-308.
- Congedo, L. 2016. Semi-automatic classification plugin documentation Release 4(0.1):29.
- Cuello Espinosa, M. 2003. Estimación de la producción y transporte de sedimentos en la cuenca alta del Río Yaque del norte y del Río Guanajuma, República Dominicana Determination of the production and sediment transport in the high river basin of the Yaque River of the North and the Guanajuma River, Dominican Republic. CATIE, Turrialba (Costa Rica). Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/70/Estimacion_de_produccion_y_transporte_de_sedimentos_R_D.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delanoy, RA. 1996. Aspectos de sismología dominicana. Ramon A Delanoy.
- DesInventar. 2019. Sistema de Inventario de Desastres 1996-2000 ed. Colombia,
- Di Bella, CM; Posse, G; Beget, ME; Fischer, MdIA; Mari, N; Verón, S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones Revista Ecosistemas 17(3).
- Di Bella, CM; Posse, G; Beget, ME; Fischer, MdIA; Mari, N; Verón, S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones Revista Ecosistemas 17(3).
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2016). InfoStat versión 2016. AR: Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Diario, L. 2018. Olga y Noel, los fenómenos más dañinos en la última década en RD Listín Diario, Santo Domingo, República Dominicana 12 Septiembre 2018: Consultado 26 julio 2019. Disponible en <https://listindiario.com/la-republica/2018/09/12/532786/olga-y-noel-los-fenomenos-mas-daninos-en-la-ultima-decada-en-rd>
- Eckstein, D; Künzel, V; Schäfer, L. 2017. Global climate risk index 2018 Germanwatch, Bonn:
- Espinoza, G. 1990. El manejo de los desastres naturales: Conceptos y definiciones básicas aplicadas a Chile Medio Ambiente y Urbanización 30:21-30.
- Estevez, JP, Estefany 2014. Influencia del río ozama en el uso de suelo de su periferia (Grade). Tesis. Consultado 17 julio 2019. Disponible en <https://es.slideshare.net/joseantonioesteveztejeda/influencia-del-rio-ozama-en-el-uso-de-suelo>

- Estrada Sifontes, V; Pacheco Moya, RM. 2012. Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba Ingeniería Hidráulica y ambiental 33(1):71-80.
- Gálvez Hooper, CA. 2010. Evaluación del riesgo a inundaciones y deslizamientos en la parte alta de la cuenca del río Chiriquí Viejo, Panamá. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- GAMA. Grupo de Análisis de situaciones Meteorológicas Adversas. 2019. ¿QUÉ SON LAS INUNDACIONES? Disponible en <http://www.floodup.ub.edu/inundaciones/>
- Glenn, E; Comarazamy, D; González, JE; Smith, T. 2015. Detection of recent regional sea surface temperature warming in the Caribbean and surrounding region Geophysical Research Letters 42(16):6785-6792.
- Gómez, AMO; Montiel, C; Tavera, ÁG; Pacheco, A; Bautista, F. 2019. Climatic hazard indicators for rainfed maize in a developing country: the case of Bajo Balsas, Mexico Nova scientia 11(22):26-52.
- Gómez, N. 2009. Análisis de riesgos de desastres y vulnerabilidades en la República Dominicana: Consultado 17 junio 2019 Disponible en <http://ayuntamientosde.gob.do/transparencia/wp-content/uploads/2019/02/An%C3%A1lisis-de-riesgos-de-dsastres-y-vulnerabilidades-en-Rep.-Dom..pdf>
- Gómez, N; Ramírez, PS. 2009. Análisis de riesgos de desastres y vulnerabilidades en la República Dominicana Documento de contribución al Sistema Nacional de Prevención, Mitigación y Respuesta a Desastres. VI Plan de Acción DIPECHO para El Caribe: Disponible en https://ec.europa.eu/echo/files/funding/opportunities/interest_dipecho7_Rep_Dominicana.pdf
- González, LNA. 1996. Sensores remotos fotográficos: zonificación por inundaciones en las cuencas bajas de los ríos parrita y limoncito: una caracterización socioespacial mediante fotos aéreas y mapas. Revista Geográfica de América Central 1(32-33):165-181.
- Guilyardi, E; Lescarmonier, L; Matthews, R; Point, SP; Rumjaun, AB; Schlüpmann, J; Wilgenbus, D. 2019. Reporte especial del IPCC" Calentamiento global de 1.5° C": Resumen para profesores:
- Gutiérrez, CP; Nieto, ÁLM. 2006. Teledetección: nociones y aplicaciones. Carlos Pérez.
- Hajek, ER; Pacheco, M; Passalacqua, A. 1972. Análisis bioclimático de la sequía en la zona de tendencia mediterránea de Chile. Laboratorio de Ecología, Instituto de Ciencias Biológicas, Universidad.
- HEC-HMS. 2019. Hydrologic Modeling System of the U.S. Army Corps of Engineers (USACE). Consultado 18 septiembre 2019. Disponible en <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Henderson, FM; Lewis, AJ. 1998. Principles and applications of imaging radar. Manual of remote sensing: Volume 2:

- Hernández, AJ; Velásquez, S; Jiménez, F; Rivera, S. 2005. Dinámica del uso de la tierra y de la oferta hídrica en la cuenca del río Guacerique, Tegucigalpa, Honduras Recursos Naturales y Ambiente (45):
- Hernández, MQ. 2011. Tecnologías de la Información Geográfica (TIG): cartografía, fotointerpretación, teledetección y SIG. Universidad de Salamanca.
- Holdridge, LR. 1987. Ecología basada en zonas de vida. Agroamérica.
- Huertas, J; Clases, SJ; Bello, L; Chalas, J. 2014. Simulación de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos y estrategias de adaptación, usando el modelo Water evaluation and planning (Weap), en la cuenca de la región yaque del norte de la República Dominicana.
- IDDI. 2009. Diagnostico Socioeconómico y Ambiental Área de Intervención del Distrito Nacional: Consultado 18 Septiembre 2019 Disponible en <http://www.climaccion.org/wp-content/uploads/2017/11/Diagnostico-socioeconomico-y-ambiental-a%C2%A6%C3%BCrea-de-intervencio%C2%A6%C3%BCn-Distrito-nacional.pdf>
- IISD. 2013. Gestión de riesgos climáticos para los recursos hídricos y la agricultura en la república dominicana: enfoque centrado en la cuenca del Yaque del Sur: Consultado 17 septiembre 2019 Disponible en https://www.iisd.org/pdf/2013/crm_dom_republic_es.pdf
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil, PE). 2009. Plan Regional de Educación Comunitaria en Gestión del Riesgo de Desastres Gobierno Regional de Madre de Dios. Madre de Dios, GOREMAD (Gobierno Regional de Madre de Dios). 82 p. Consultado 21 abril 2019. Disponible en http://www.indeci.gob.pe/planes_proy_prg/p_estrategicos/planes_reg_com10/plan_re_g_edu_com_grd_mdd.pdf
- INDRHI, INDRH. 2017. Plan de Manejo y Adecuación Ambiental (PMAA) para las Obras de Rehabilitación de las Presas de Chacuey, Maguaca, Tavera y Mijo, y mejora de los Sistemas de Riego: Consultado 15 June 2019 Disponible en <http://economia.gob.do/agua/wp-content/uploads/drive/Documento4.pdf>
- IPCC. 2014. Anexo II: Glosario [Mach, K.J., S. Planton y C. von Stechow (eds.)] Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]:127-141. Consultado 18 septiembre 2019 Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/AR5_SYR_Glossary_es.pdf
- IPCC-WGI. 2007. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007 The Physical Science Basis:
- Ivanova, Y; Corredor, J. 2006. Evaluación de la sensibilidad de los caudales máximos de diseño ante la influencia del cambio climático Avances en Recursos Hidráulicos (13):89-98.
- Izzo, M. 2014. Diagnóstico de Infraestructuras de Agua y Saneamiento en Barrios de la Zona Norte Del Distrito Nacional

- Jayakrishnan, R; Srinivasan, R; Santhi, C; Arnold, J. 2005. Advances in the application of the SWAT model for water resources management. *Hydrological Processes* 19(3):749762.
- Jha, A; Bloch, R; Lamond, J. 2012. Ciudades e inundaciones.
- Jiménez, F. 2011. Gestión del riesgo a desastres Turrialba, Costa Rica, CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza,,CR). 144 p.
- Kissel, ES; Mastrandrea, MD; Mastrandrea, PR; White, LL; Genova, RC; Field, CB; Chatterjee, M; Ebi, KL; Moreno, JM; Girma, B. 2014. CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad:
- Kreft, S; Eckstein, D; Junghans, L; Kerestan, C; Hagen, U. 2013. Global climate risk index 2014 Who suffers most from extreme weather events:1Á31.
- Lavell, A. 2001. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición Biblioteca Virtual en Salud de Desastres-OPS 4:1-22.
- Lavell, A; Mansilla, E; Smith, D. 2003. La gestión local del riesgo, nociones y precisiones en torno al concepto y la práctica (en línea). CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central):60 p. Consultado 27 may.2013. Disponible en <http://www.eird.org/encuentro/pdf/spa/doc15783/doc15783-contenido.pdf>
- Libre, D. 2009 Daños de las tormentas Olga y Noel afectaron el crecimiento económico Diario Libre, Santo Domingo, República Dominicana 20 Agosto 2009: Consultado 26 Julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/actualidad/daos-de-las-tormentas-olga-y-noel-afectaron-el-crecimiento-econmico-DL212274>
- Madrugal Obando, LN. 1995. Análisis de las inundaciones en la cuenca del río Tuis mediante la modelación hidrológica e hidráulica de eventos máximos. CATIE, Turrialba (Costa Rica).
- Magrin, G, C. Gay García, D. Cruz Choque, J.C. Giménez, A.R.; Moreno, GJN, C. Nobre and A. Villamizar. 2007. Latin America Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability Cambridge University Press: 581-615.
- Magrin, G. 2015. Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe:
- Martín, AMM. 1991. APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN ARQUEOLOGÍA. UNA REVISIÓN CRÍTICA Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada 16:425-451.
- Martínez, E. (2000). RIO OZAMA: UN CEMENTERIO DE CHATARRAS. [Online] Web.archive.org. Available at: <https://web.archive.org/web/20070630041634/http://kiskeyaalternative.org/publica/eleuterio/chatarras.htm> [Consultado 10 mayo 2019].
- Martínez, R; Zambrano, E; Nieto, JJ; Hernández, J; Costa, F. 2017. Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina Investigaciones Geográficas (68):65-78.
- Mejía, M. 2016. Unos 32 huracanes han afectado la República Dominicana desde 1873 Diario Libre, Santo Domingo 3 octubre 2016: Consultado 2 agosto 2019.

- Disponible en <https://www.diariolibre.com/actualidad/medioambiente/unos-32-huracanes-han-afectado-la-republica-dominicana-desde-1873-AN5096471>
- Michela Izzo, LR, David Arias Rodríguez - IDDI-CLIMACCION/Fundación Plenitud. 2012. Puntos Críticos para la Vulnerabilidad a la Variabilidad y Cambio Climático en la República Dominicana y su Adaptación al mismo Programa para la Protección Ambiental Acuerdo de Cooperación No. 517-A-00-09-00106-00:8-10. Consultado 5 abril 2019 Disponible en http://acento.com.do/wpcontent/uploads/Resumen_Ejecutivo-paraimpresion_21.jun.12.pdf
- MIMARENA. 2019. Descripción Biofísica Cuenca Ozama. Disponible en <https://ambiente.gob.do/cuencas-hidrograficas/ozama/>
- MIMARENA. 2016. Plan Nacional De Adaptación Para El Cambio Climático En La República Dominicana 2015-2030: Consultado 6 mayo 2019 Disponible en <http://www.fundacionplenitud.org/files/PNACC.pdf>
- Miraglia, M; Flores, AP; DLiberis, M; Galván, L; Natale, D; Rodríguez, M. 2010. Manual de Cartografía, Teleobservación y Sistemas de Información Geográfica Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires, Argentina:
- Nalesso, M. 2014. Hydro-BID Banco Interamericano de desarrollo.
- Nanía, L; Molero, E. 2007. Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1. Granada, Universidad de Granada.
- Neussner, O. 2009. Manual Local Flood Early Warning Systems Experiences from the Philippines. Philippines, GTZ
- NOAA. 2019. Historical Hurricane Tracks by Office for Coastal Management.
- Oficina Nacional de Estadística. (2010). IX Censo Nacional de Población y Vivienda. Santo Domingo: ONE. [http://economia.gob.do/wp-content/uploads/drive/DIGEDES/Planes%20para%20el%20Desarrollo%20Economico%20Local%20Provinciales%20y%20Regionales/SANTO%20DOMINGO%20-%20IMPRESION%20\[CC\].compressed.pdf](http://economia.gob.do/wp-content/uploads/drive/DIGEDES/Planes%20para%20el%20Desarrollo%20Economico%20Local%20Provinciales%20y%20Regionales/SANTO%20DOMINGO%20-%20IMPRESION%20[CC].compressed.pdf)
- OMM. 2009. La Organización Meteorológica Mundial de un vistazo. Organización Meteorológica Mundial Suiza.
- ONAMET, ONdM. 2017. Historia de la presencia de los tsunamis en República Dominicana. Disponible en www.onamet.gov.do/m/tsunami/02w-whistoria-tsunami.php
- Ortega Gómez, AM; Montiel González, C; Gallegos Tavera, Á; Pacheco, A; Bautista, F. 2019. Indicadores de riesgo climático para el maíz de temporal en un país en desarrollo: el caso del Bajo Balsas, México Nova scientia 11(22):26-52.
- Ortega, B. 2019. El Río Ozama en Santo Domingo. Santo Domingo Disponible en <https://www.conectate.com.do/articulo/rio-ozama-santo-domingo-republica-dominicana/>
- Ortiz, F. 1947. El huracán: su mitología y sus símbolos Sección De Obras De Antropología:
- Pérez, DJ. 2007. Introducción a los Sensores Remotos-Aplicaciones en Geología Laboratorio de Tectónica Andina, Ciudad Universitaria, Pabellón 2:C1428EGA.

- Picado, F. 2017. Seguridad hídrica y cambio climático en la región de América Central y el Caribe-informe final del proyecto:
- Rivera Torres, LH. 2002. Evaluation of the flood prone areas and vulnerability in the Microbasin La Soledad, Valle de Angeles, Honduras:
- Rodríguez Gutiérrez, A. 2019. Estudio de soluciones para las inundaciones en Santiago de los Caballeros:
- Rodríguez, E. 2019. Línea base de producción de agua y erosión hídrica en la sección alta de la cuenca del Río Yaque del Norte, República Dominicana Análisis de sensibilidad en producción de agua y erosión hídrica bajo escenarios de cobertura vegetal y clima en la sección alta de la cuenca del Río Yaque del Norte, República Dominicana. Turrialba (Costa Rica), CATIE, 2019. Páginas 23-53:
- Romina Vásquez, LFV. 2013. Ciclones históricos Diario Libre, República Dominicana Consultado 8 junio 2019. Disponible en <http://especiales.diariolibre.com/temporadaciclonica/historicos.php>
- Roosevelt, O. 2018. Fenómeno del Niño. Disponible en <https://www.meteorologiard.org/2018/04/fenomeno-el-nino-y-sus-consecuencias.html>
- Rosa, Adl. 2018. En ríos Ozama e Isabela descargan 54 cañadas y 241 empresas del Gran Santo Domingo Diario Libre, Santo Domingo; 3 marzo 2018: Consultado 30 julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/actualidad/ciudad/en-rios-ozama-e-isabela-descargan-54-canadas-y-241-empresas-del-gran-santo-domingo-BO10697789>
- Roth, M. 2015. Everyone Must Be Prepared For Emergencies. Consultado 04 Septiembre 2019. Disponible en <https://choosework.ssa.gov/blog/everyone-must-be-prepared-for-emergencies>
- Santana, O. 2014. Alta contaminación y bacterias en el cauce del río Ozama Diario Libre, Santo Domingo 13 junio 2014: Consultado 30 julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/actualidad/alta-contaminacin-y-bacterias-en-el-cauce-del-ro-ozama-HLDL654021>
- Seprocicamp.wordpress.com. 2019. Fenómenos Hidrometeorológicos. [Online] [Accessed 12 May 2019]. Available at: <https://seprocicamp.wordpress.com/fenomenos-hidrometeorologicos/>
- Sibelet, N., Mutel, M., Arragon, P., & Luye, M. (2013). Los métodos de investigación cualitativa aplicada al manejo de los recursos naturales (En línea). <http://entretiens.iamm.fr/>.
- Sobrino, JA. 2001. Teledetección. Universitat de València.
- Solís Bolaños, H; Oreamuno Vega, R; Murillo Montero, W; Chacón Solano, JJ. 1993. Modelación hidrológica e hidráulica para el control de inundaciones en Centroamérica: Casos Río Purires y Turrialba. CATIE. Disponible en <http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf2/2005/septiembreoctubre/parte2/pdf/spa/doc6433/doc6433.htm>
- Tactuk, P. 2010. Expansión Urbana Ciudades Capitales República Dominicana 1988-2010: Consultado 5 Jun 2019 Disponible en

<https://web.archive.org/web/20160421174809/http://www.one.gob.do/Multimedia/Download?ObjId=5645>

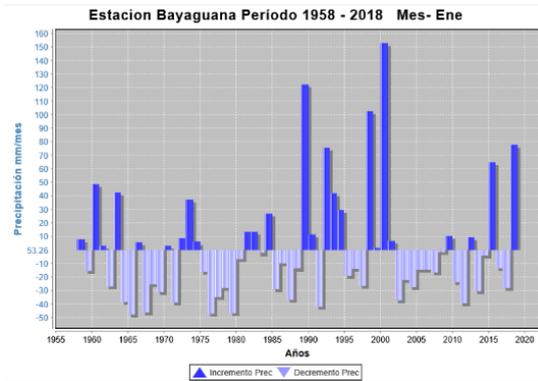
- Thornthwaite, CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate
Geographical review 38(1):55-94.
- Toro, JIB; Higueta, CV; Vásquez, MS; Toro, EMT; González, EV. 2010. Santo Domingo Savio: un territorio re-territorializado territorios (22):87-110.
- Torres, J. 2014. Diagnóstico socioeconómico de diez zonas a orillas del río Ozama Ciudad alternativa:
- UNISDR. 2016. The Human Cost of Weather-related Disasters:
- USACE. 2001. Rio Ozama and Rio Isabela Floodplain Management Maps. United States Army Corps of Engineers, JD (Ed.)
- Valiente, OM. 2001. EQUÍA: DEFINICIONES, TIPOLOGÍAS Y MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN Investigaciones Geográficas 26:59-80. Consultado 08 junio 2019 Disponible en www.cervantesvirtual.com/.../sequa--definiciones-tipologia-y-mtodos-de-cuantificacin
- Vargas, JE. 2002. Políticas públicas para la reducción de la vulnerabilidad frente a los desastres naturales y socio-naturales. United Nations Publications.
- Villalona, M. 2018. Ciudad Colonial de Santo Domingo registró 682 mil visitantes en el 2017 Diario Libre, 12 marzo 2018: Consultado 31 julio 2019. Disponible en <https://www.diariolibre.com/economia/ciudad-colonial-de-santo-domingo-registro-682-mil-visitantes-en-el-2017-XX9624374>
- Wilches-Chaux, G. 1988. La vulnerabilidad global Los desastres no son Naturales. LA RED. Tercer Mundo Editores:
- Wilches-Chaux, G. 1993. Los desastres no son naturales. La RED. 140 p. Consultado 02/04/2019. Disponible en <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales1.0.0.pdf>
- Yabar Meoño, DA. 2018. Metodología para la planificación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) a inundaciones para la región de Madre de Dios, Perú.

8. ANEXOS

Anexo 1. Gráficos de incremento, disminución y tendencia de la precipitación y temperatura media

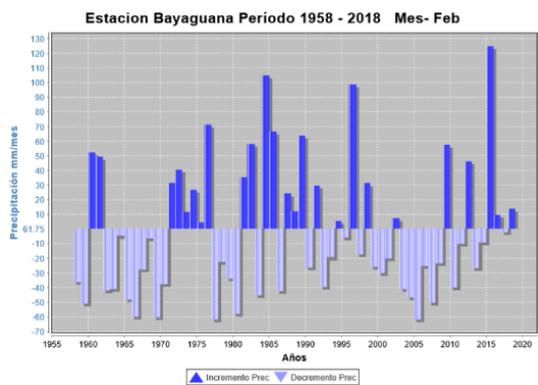
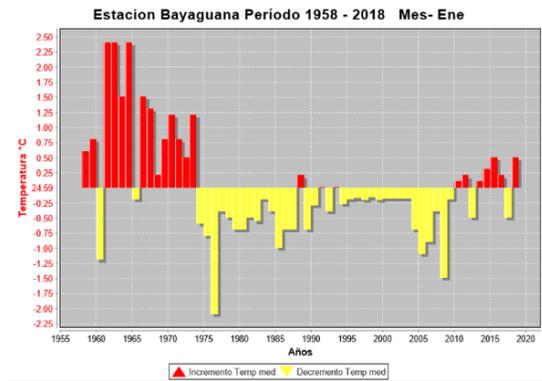
A) Estación Bayaguana

Precipitación

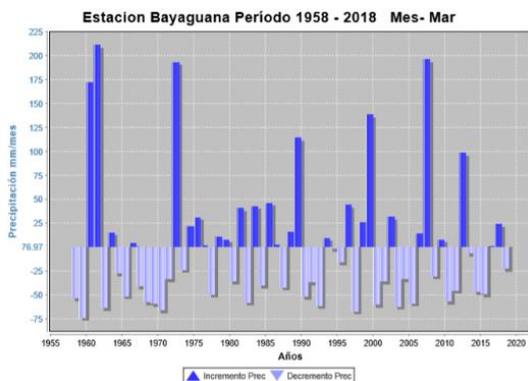
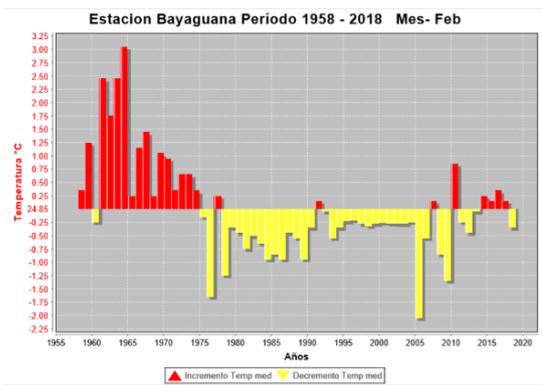


Temperatura media

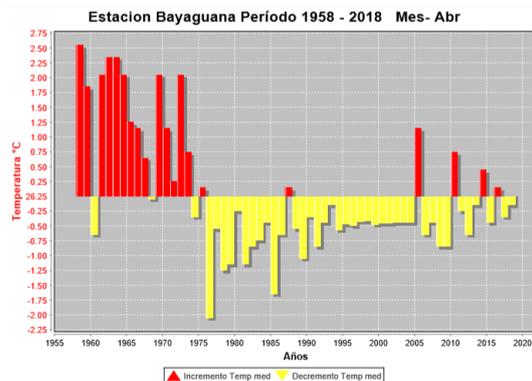
Enero



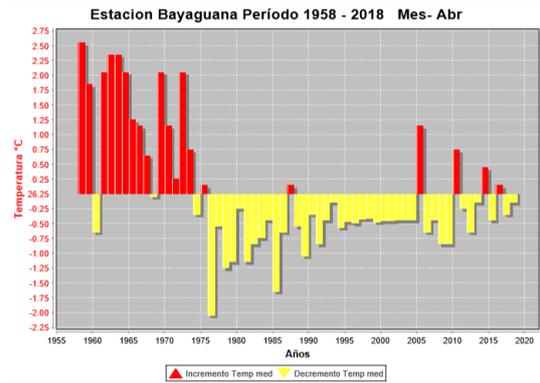
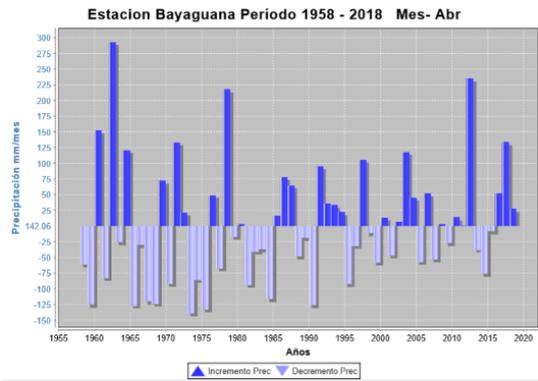
Febrero



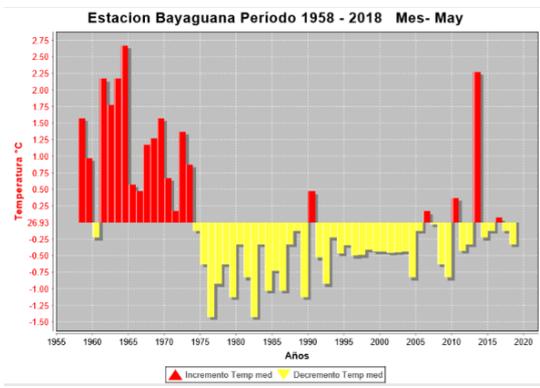
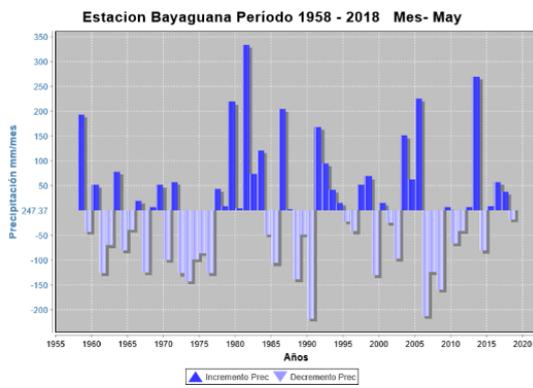
Marzo



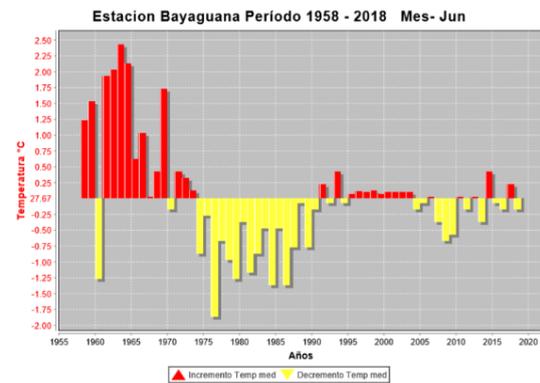
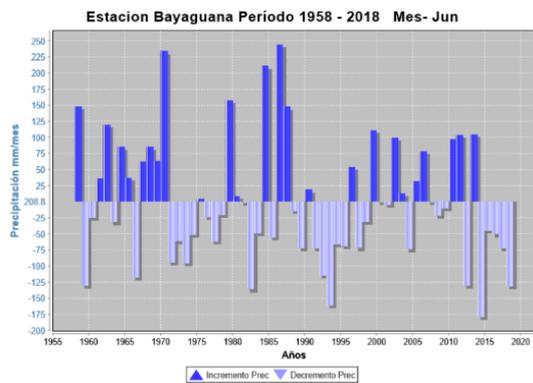
Abril



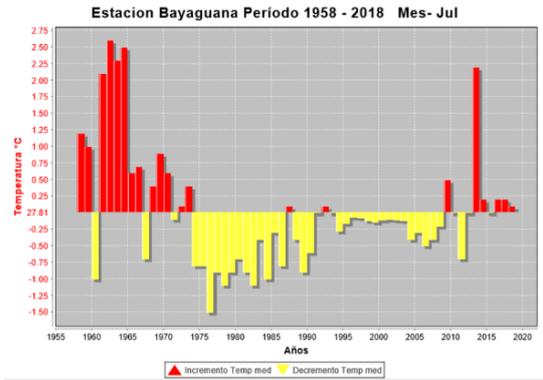
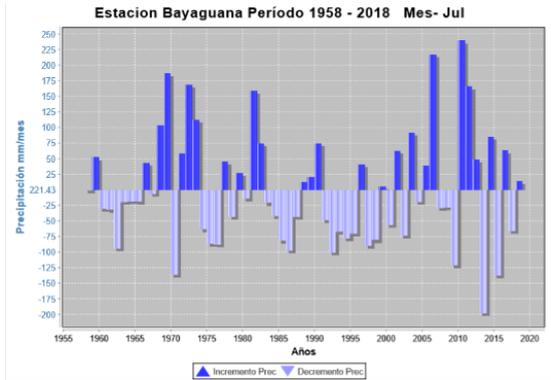
Mayo



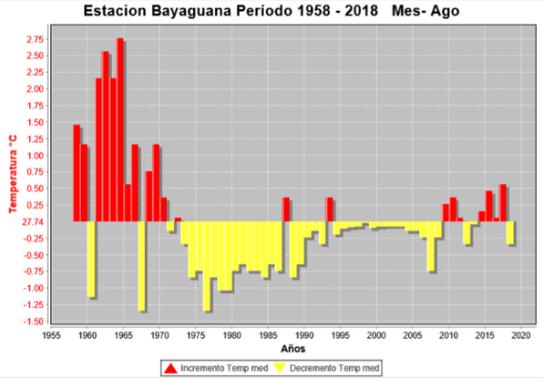
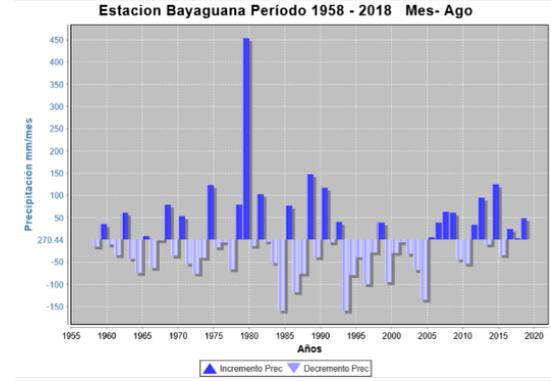
Junio



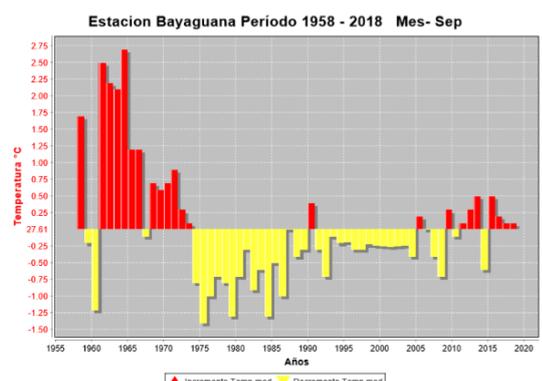
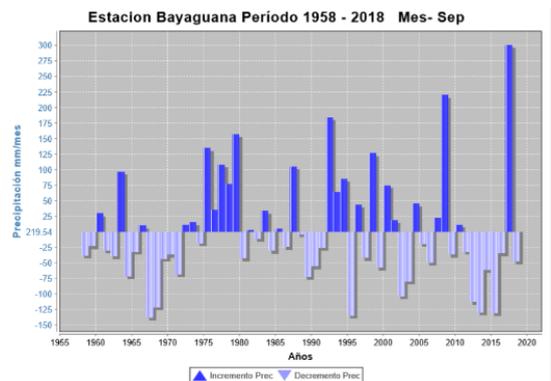
Julio



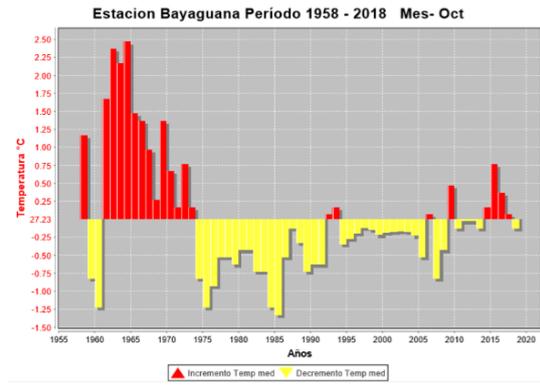
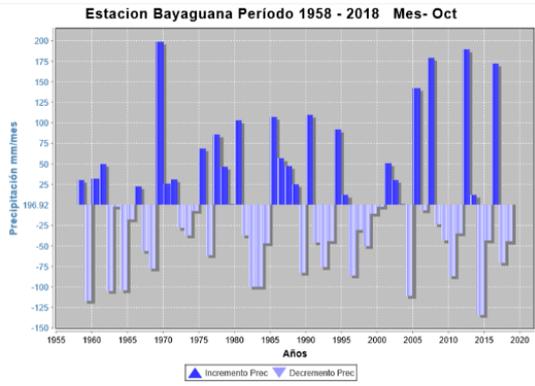
Agosto



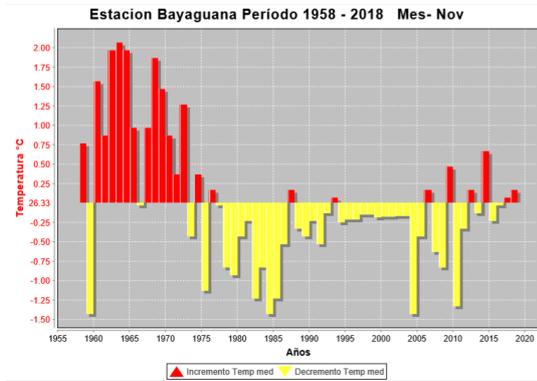
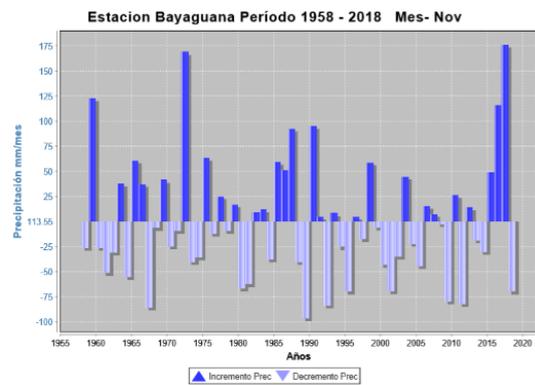
Septiembre



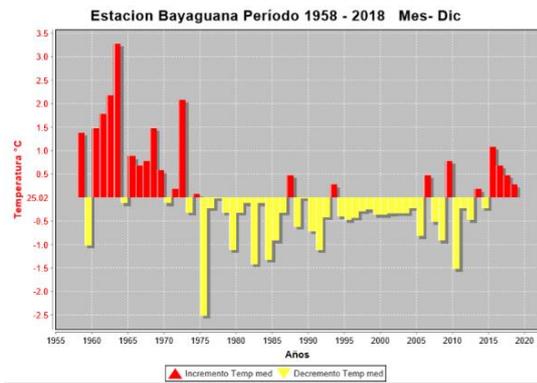
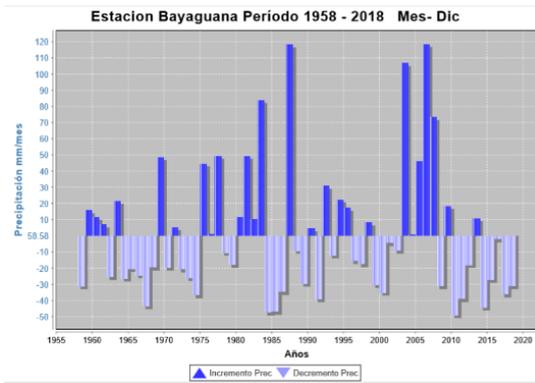
Octubre



Noviembre



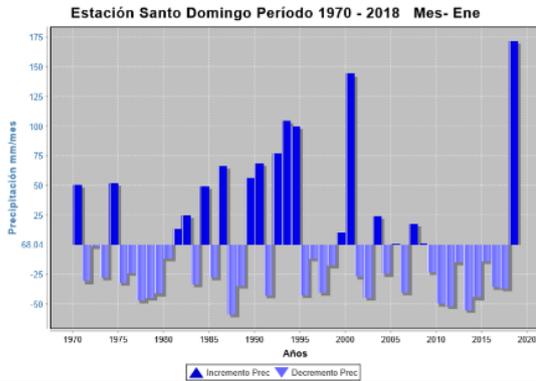
Diciembre



B) Estación Santo Domingo

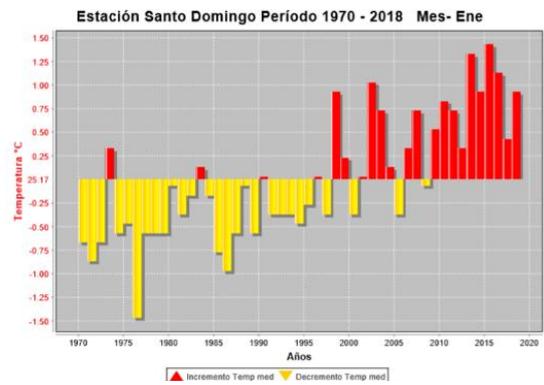
Incremento y disminución

Precipitación

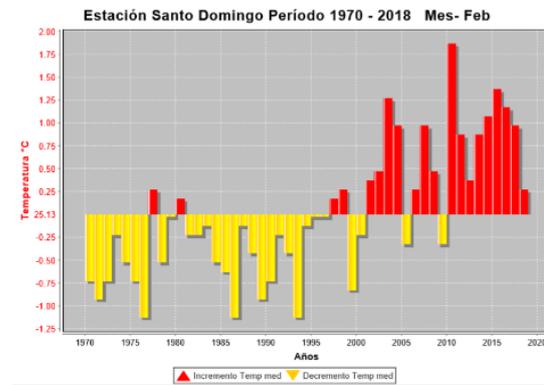
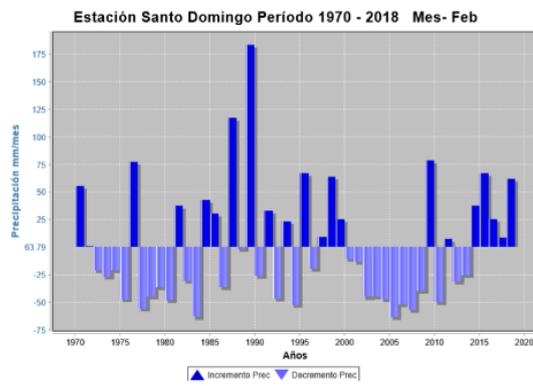


Temperatura media

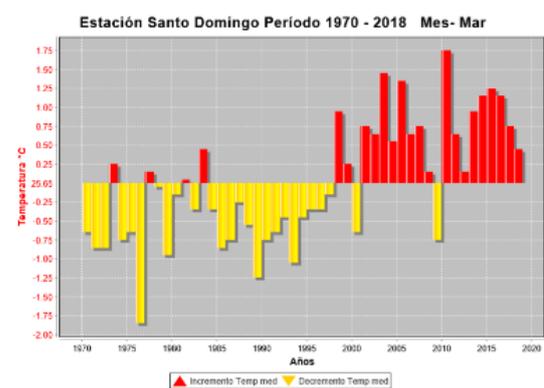
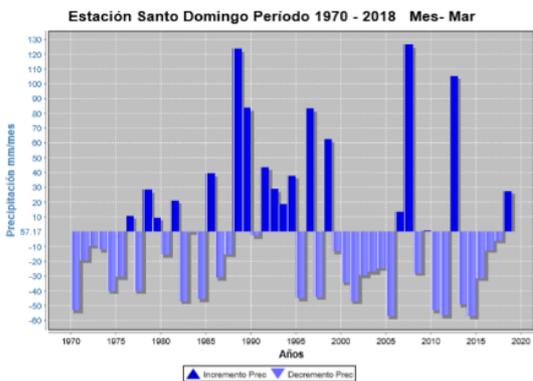
Enero



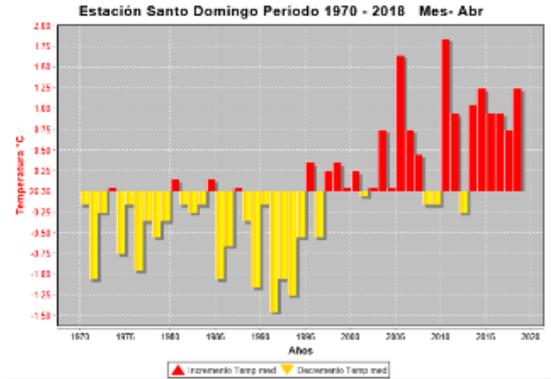
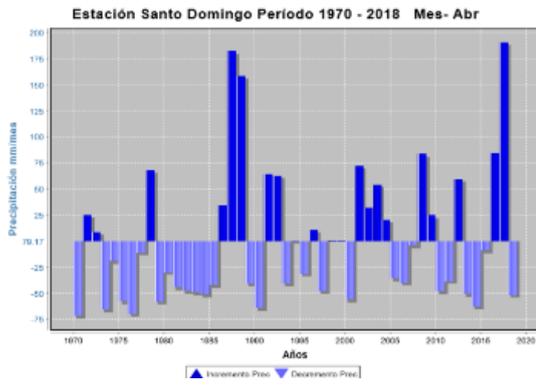
Febrero



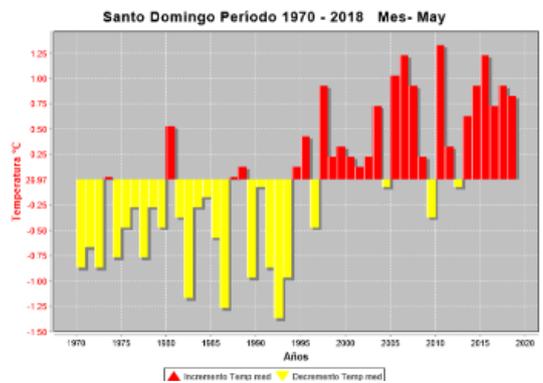
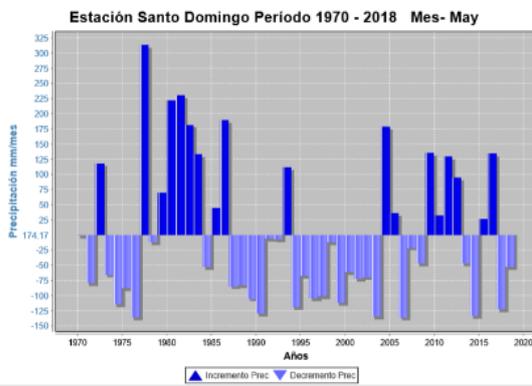
Marzo



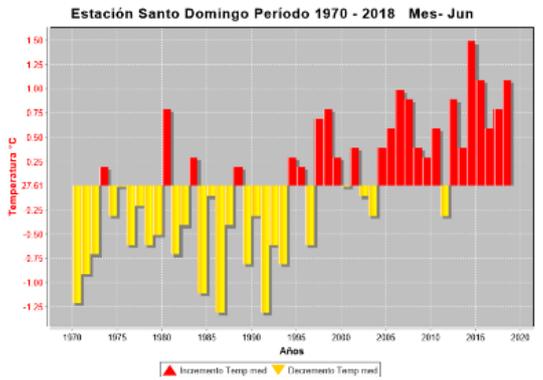
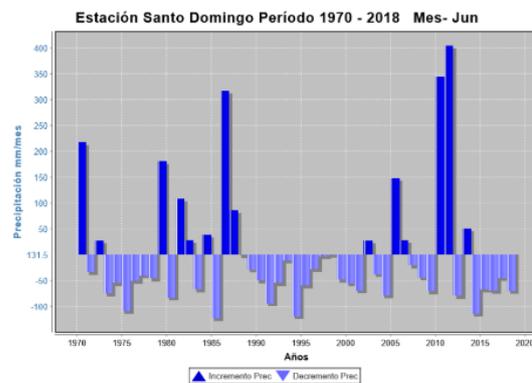
Abril



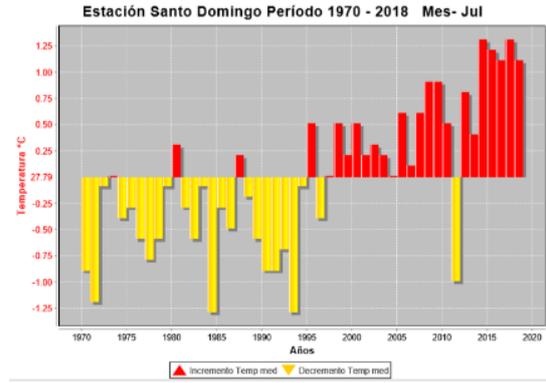
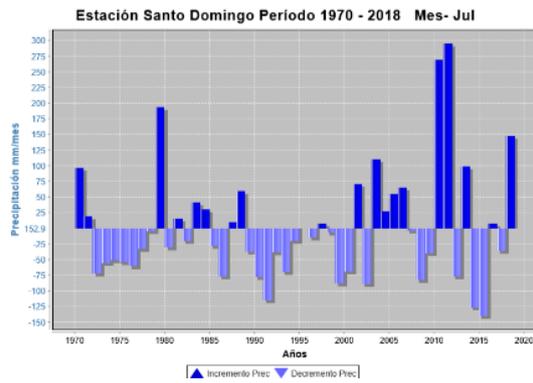
Mayo



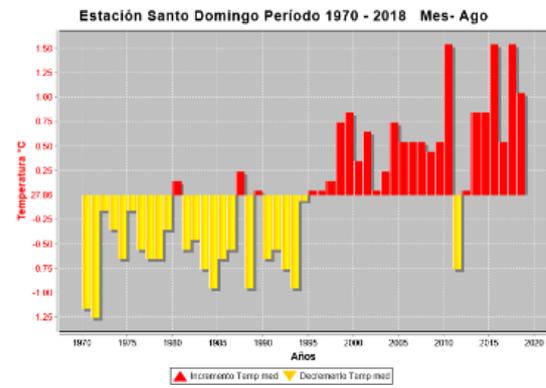
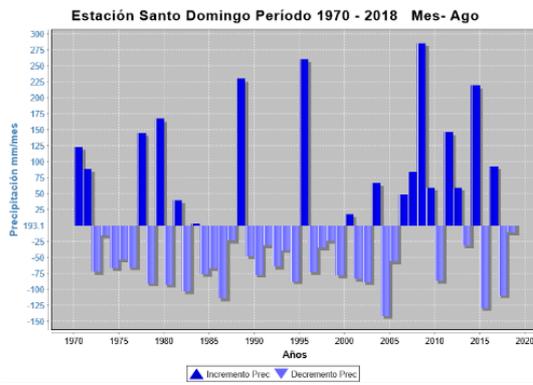
Junio



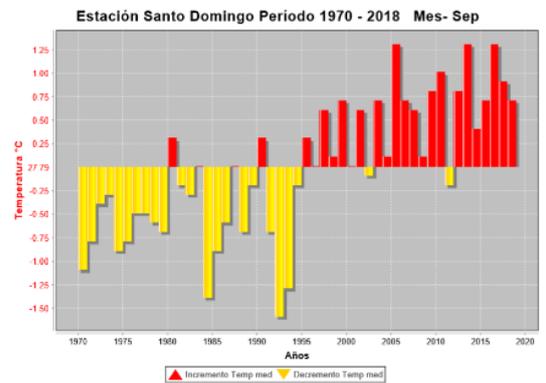
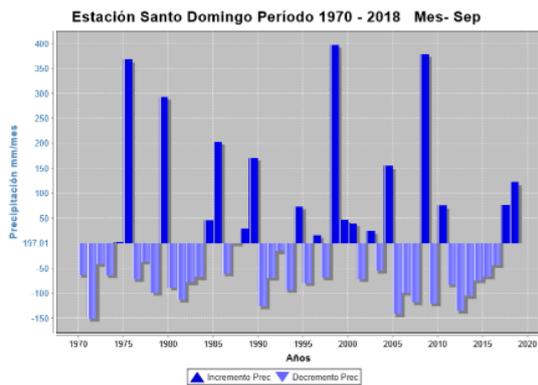
Julio



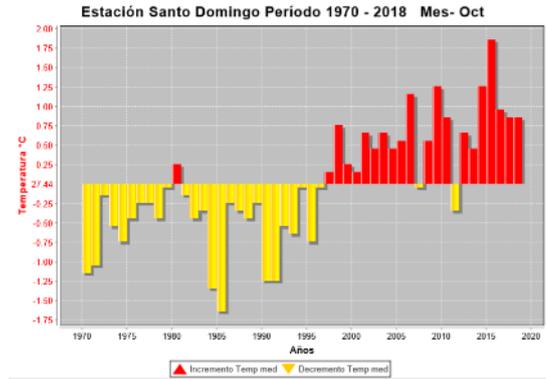
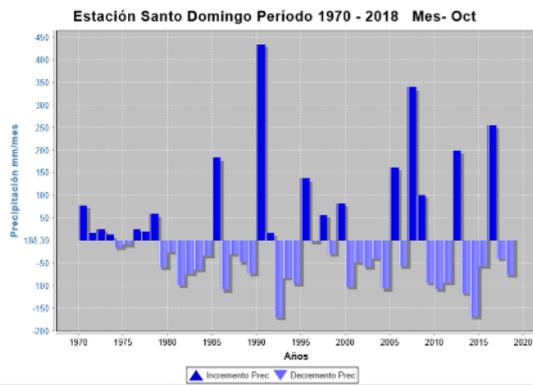
Agosto



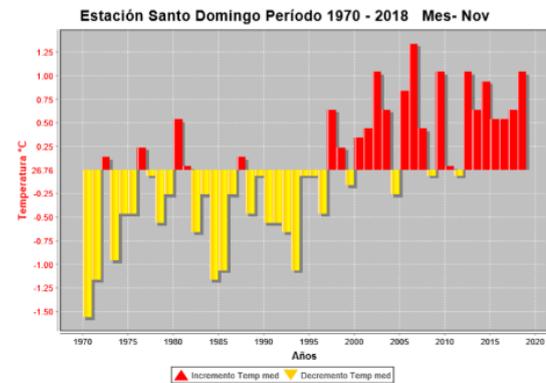
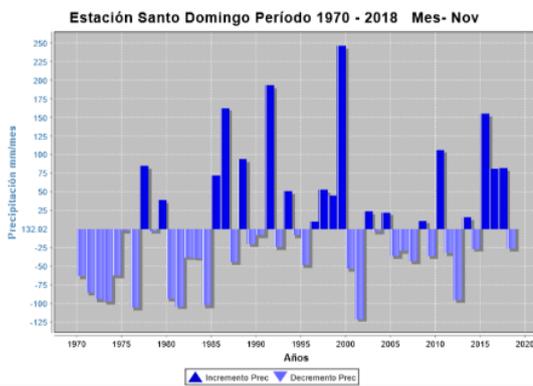
Septiembre



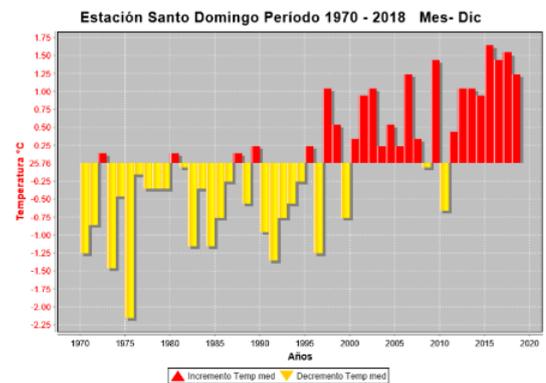
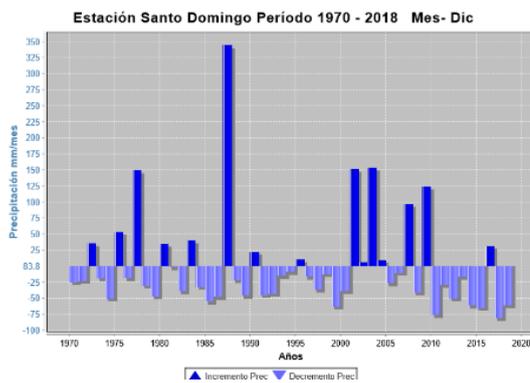
Octubre



Noviembre



Diciembre



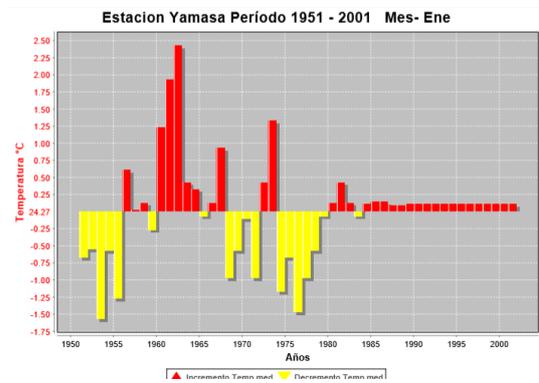
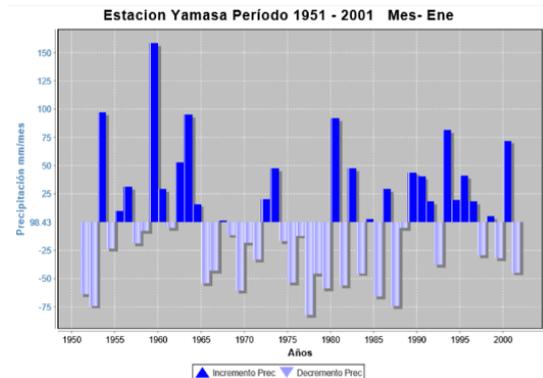
C) Estación Yamasá

Incremento y disminución

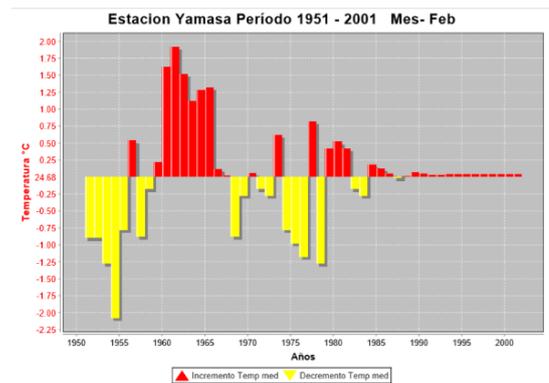
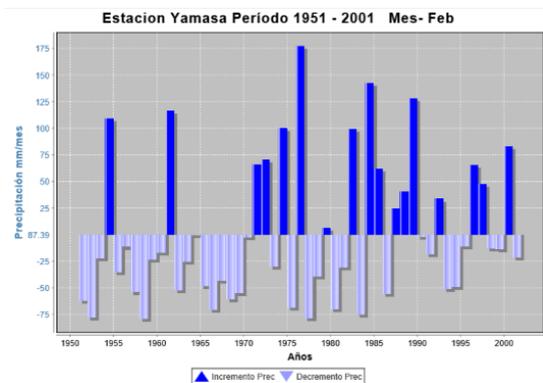
Precipitación

Temperatura media

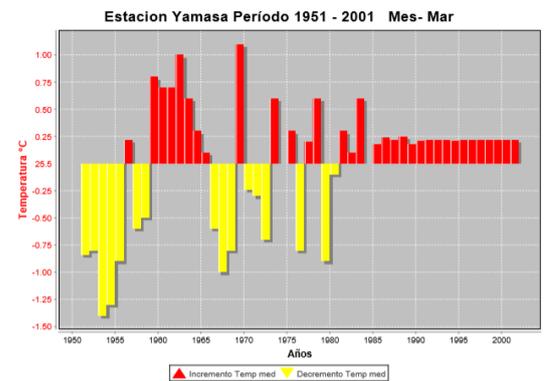
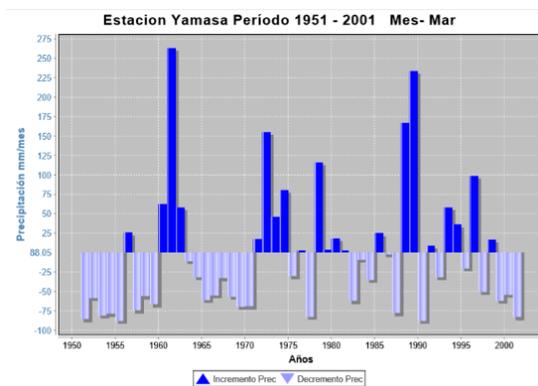
Enero



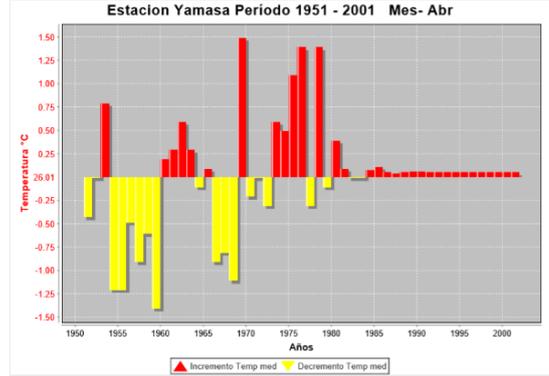
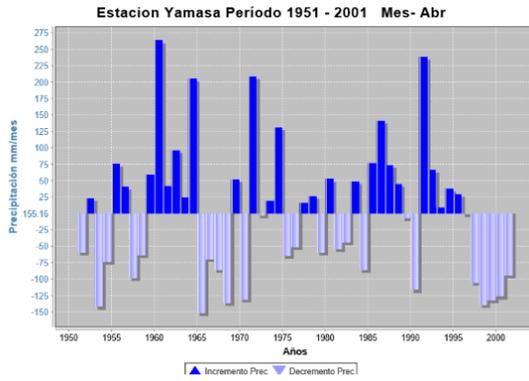
Febrero



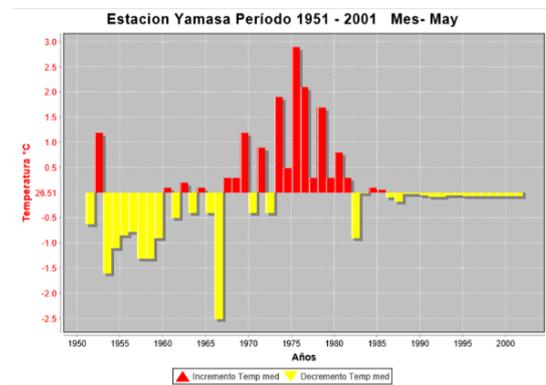
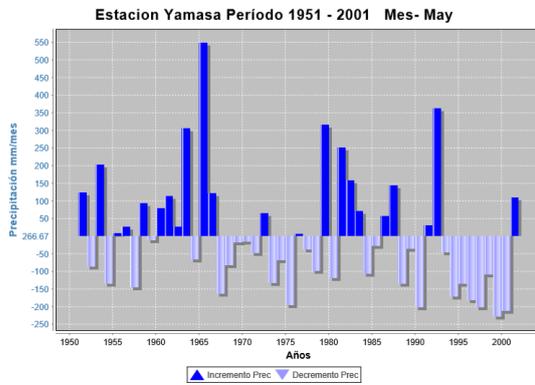
Marzo



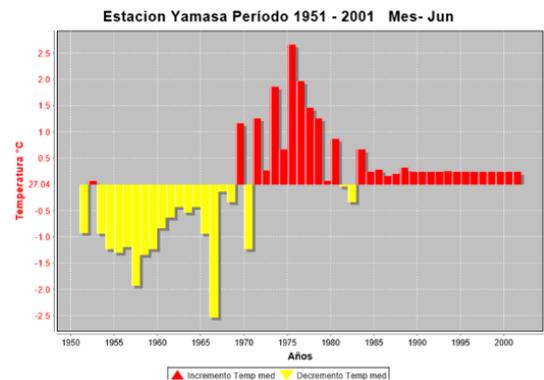
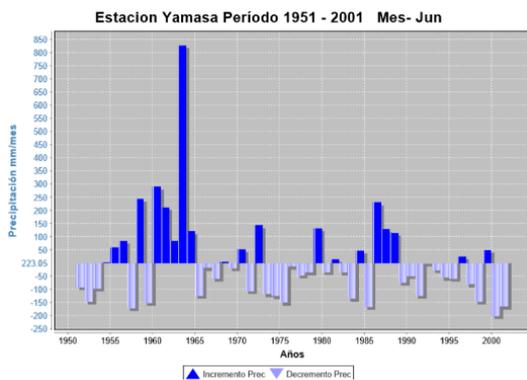
Abril



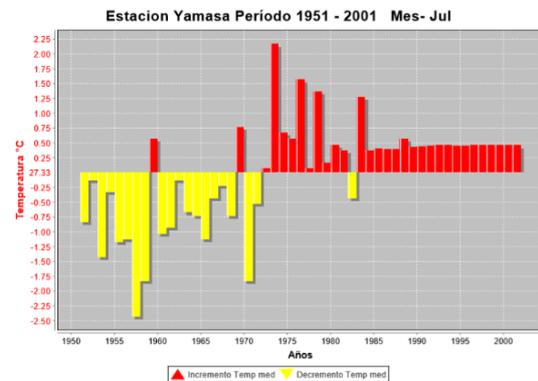
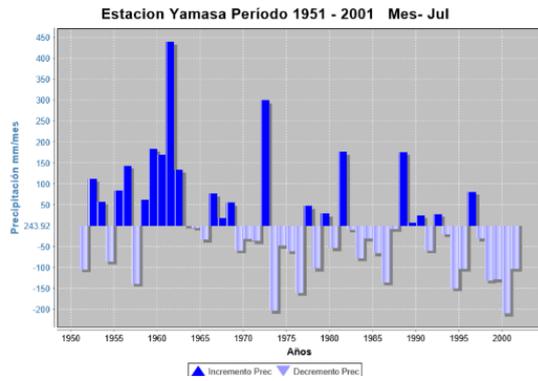
Mayo



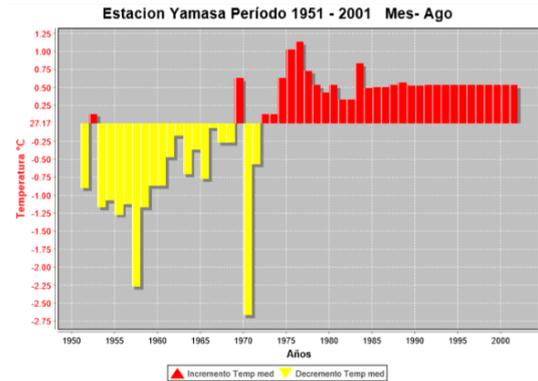
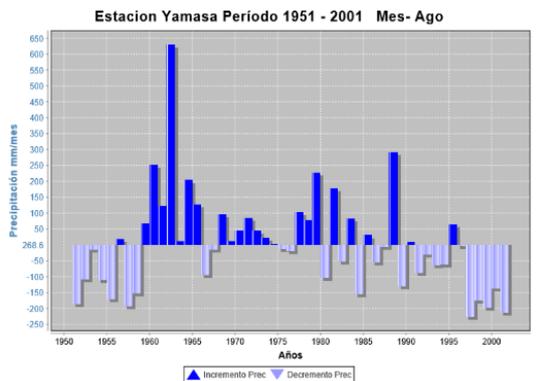
Junio



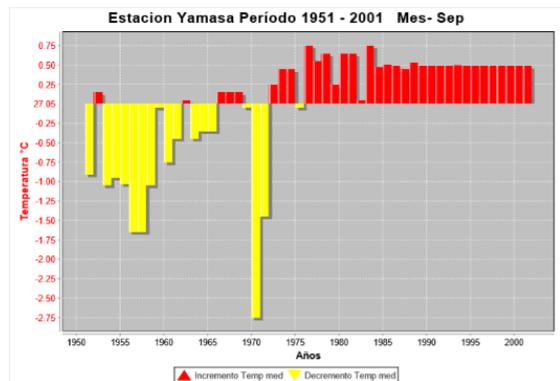
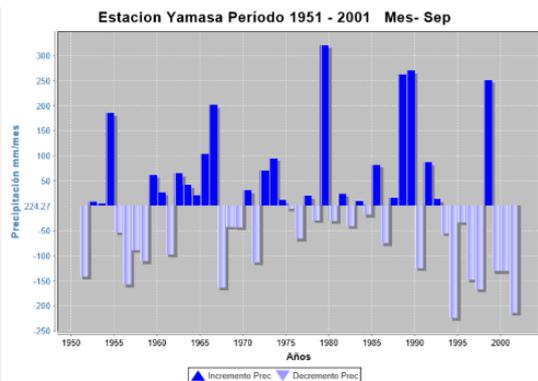
Julio



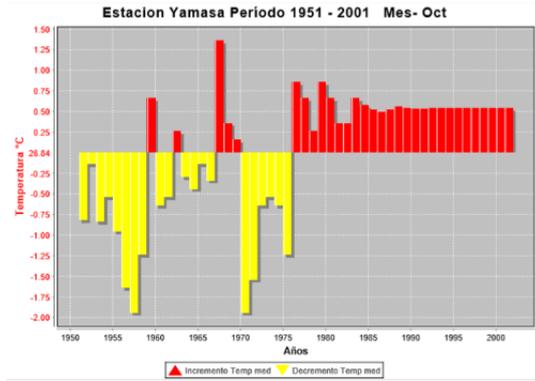
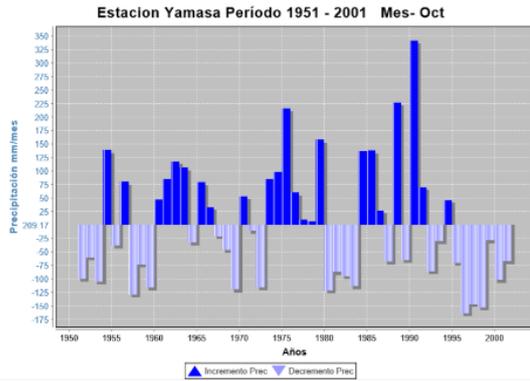
Agosto



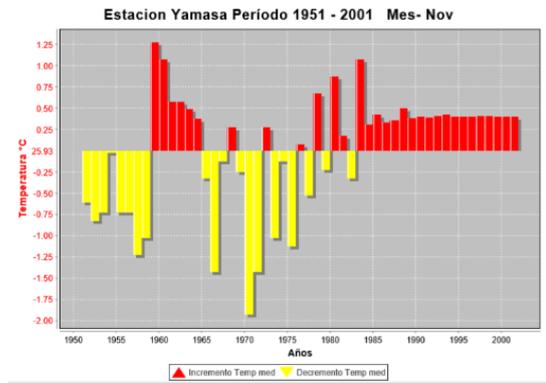
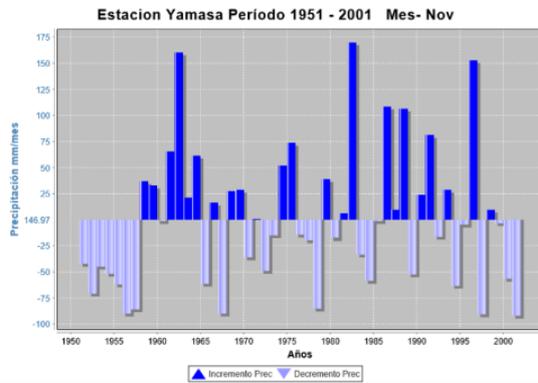
Septiembre



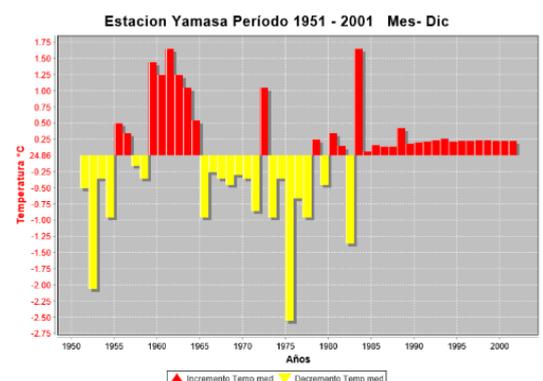
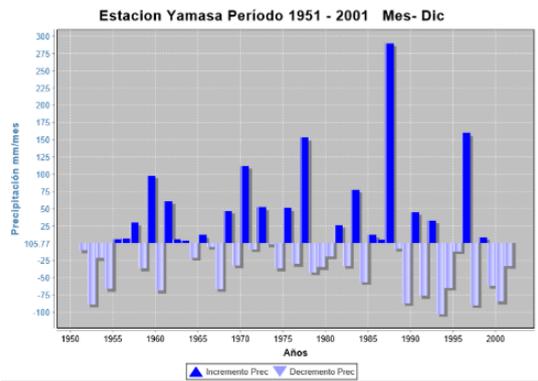
Octubre



Noviembre



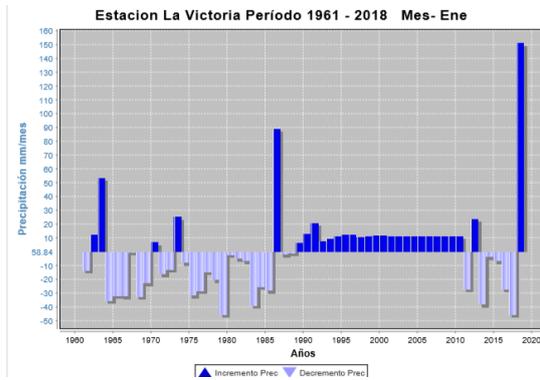
Diciembre



D) Estación La Victoria

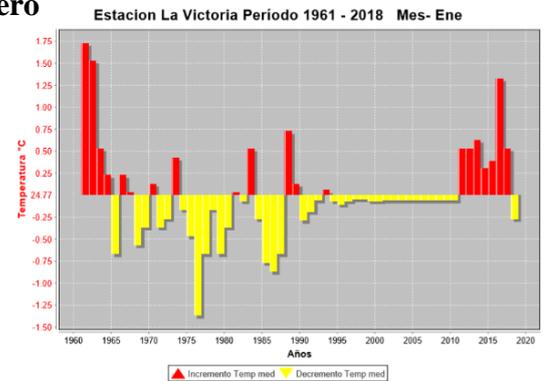
Incremento y disminución

Precipitación

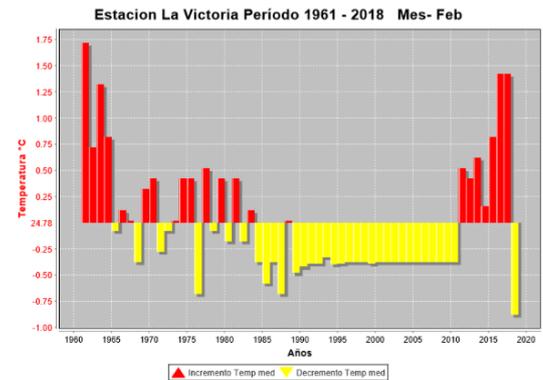
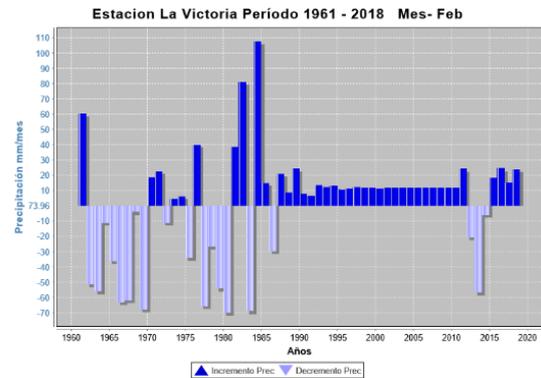


Temperatura media

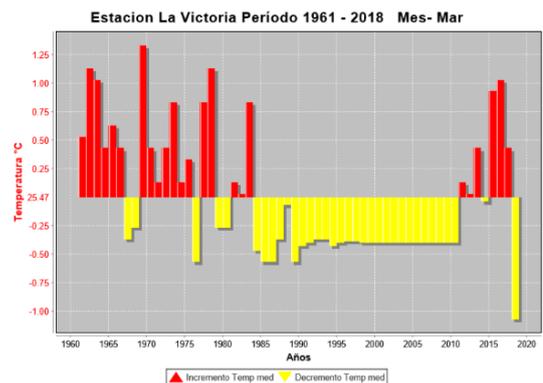
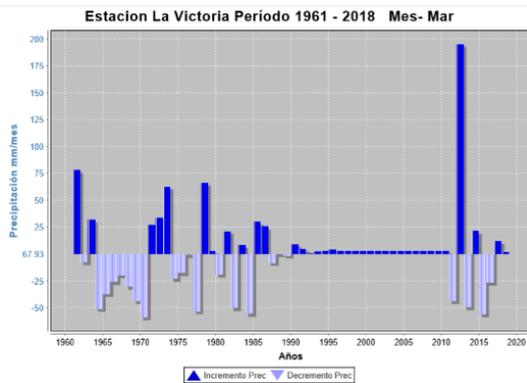
Enero



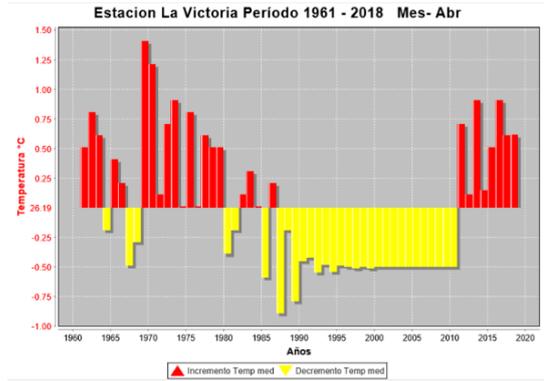
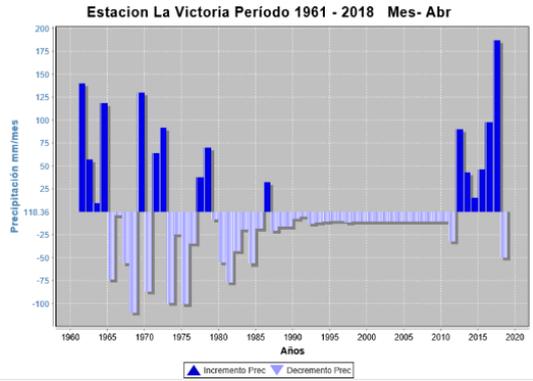
Febrero



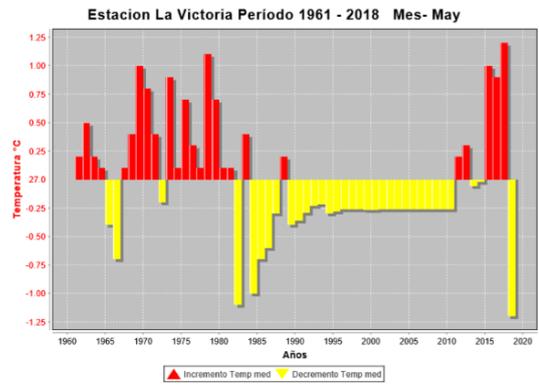
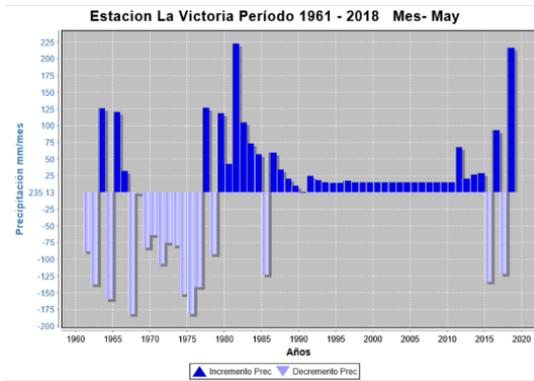
Marzo



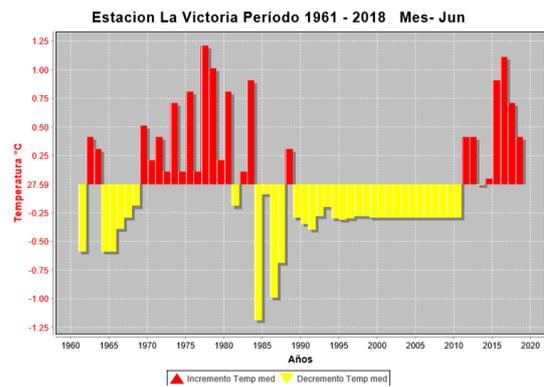
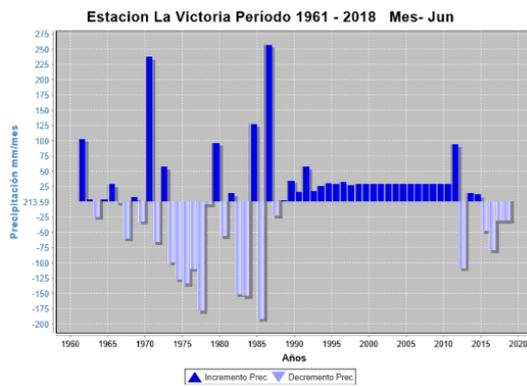
Abril



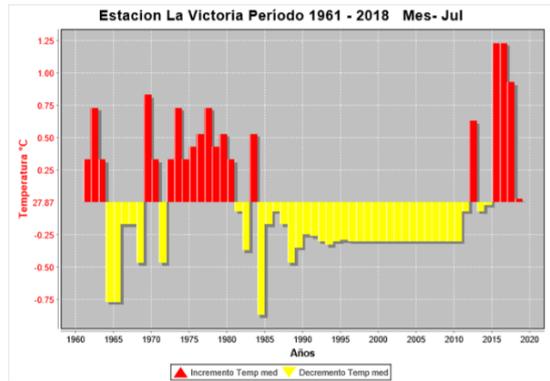
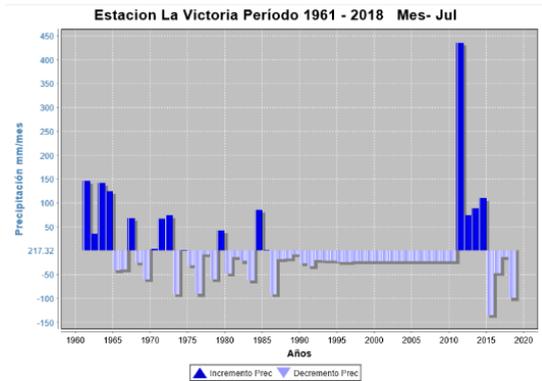
Mayo



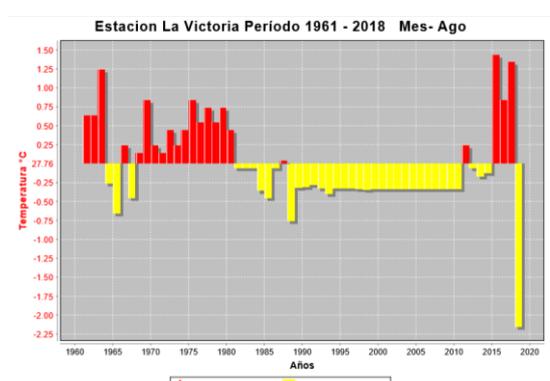
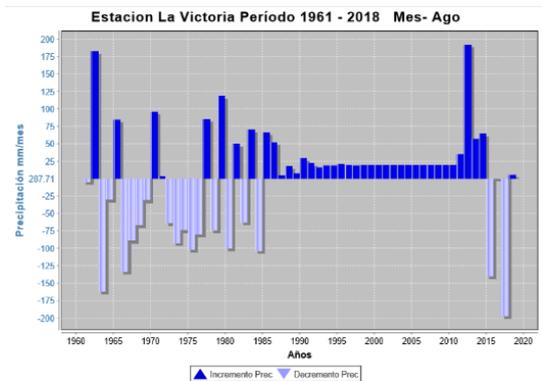
Junio



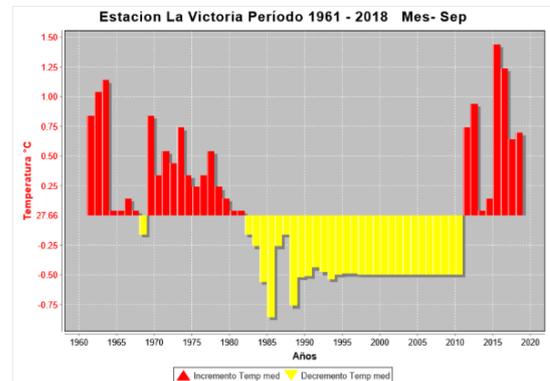
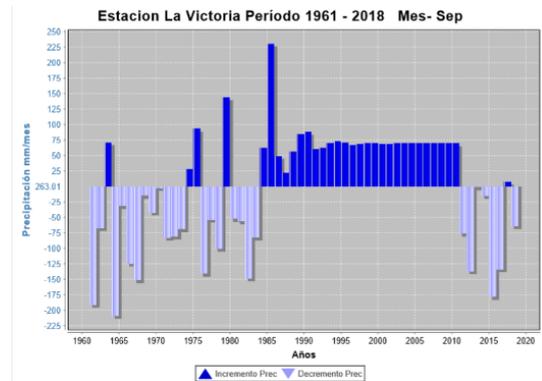
Julio



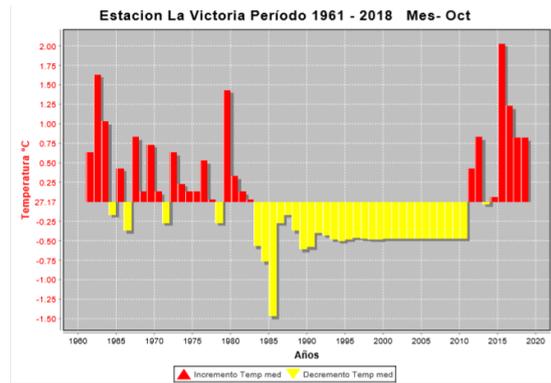
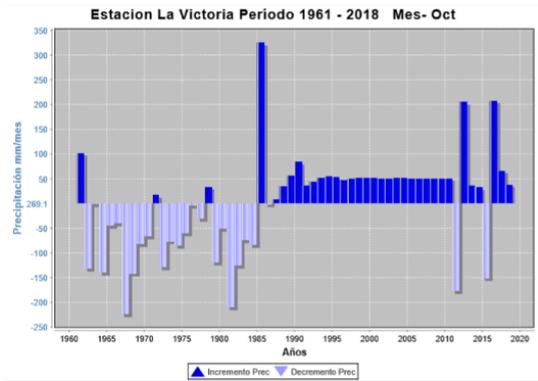
Agosto



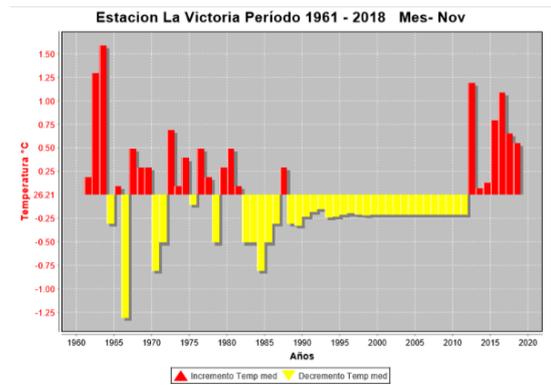
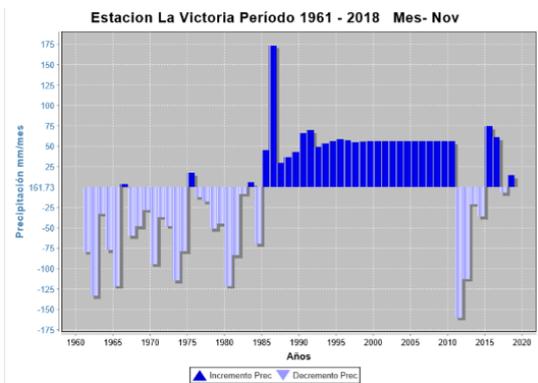
Septiembre



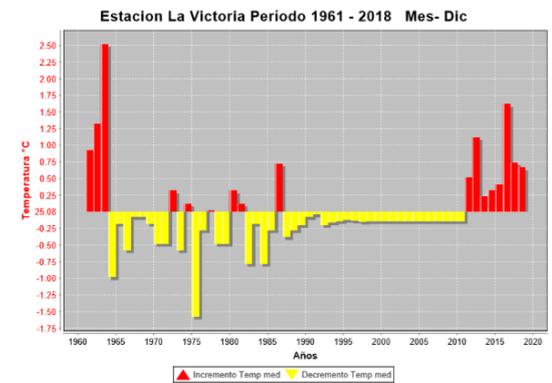
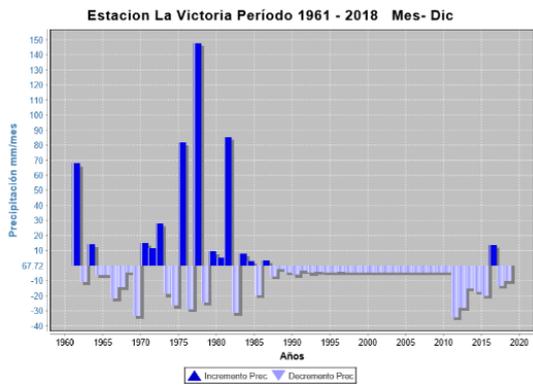
Octubre



Noviembre



Diciembre



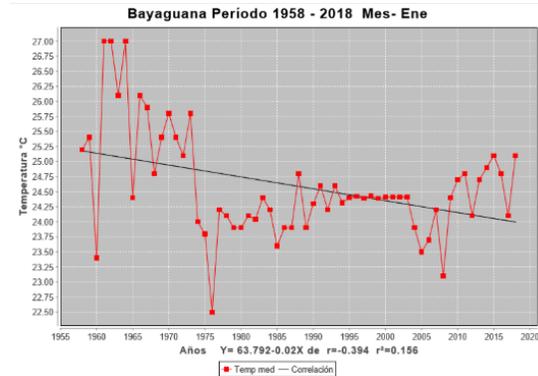
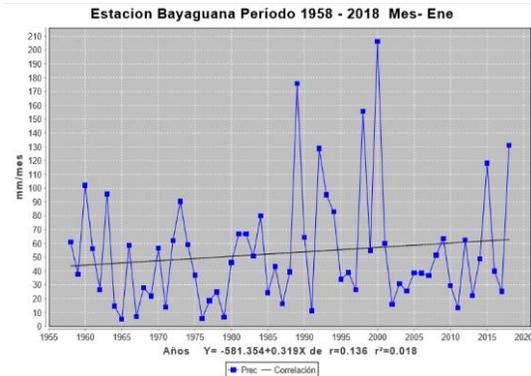
E) Tendencia estación Bayaguana

Tendencia

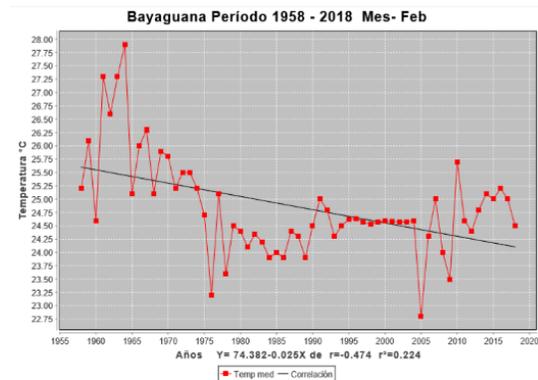
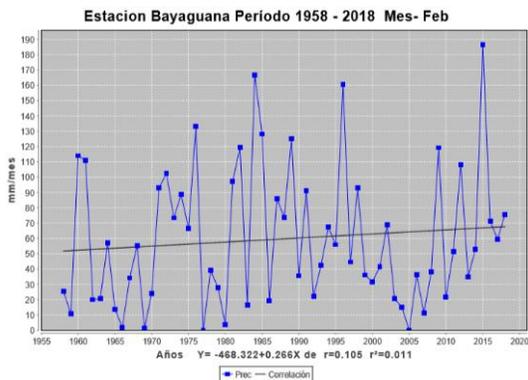
Precipitación

Temperatura media

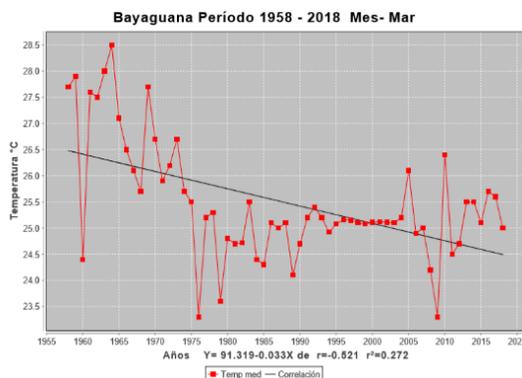
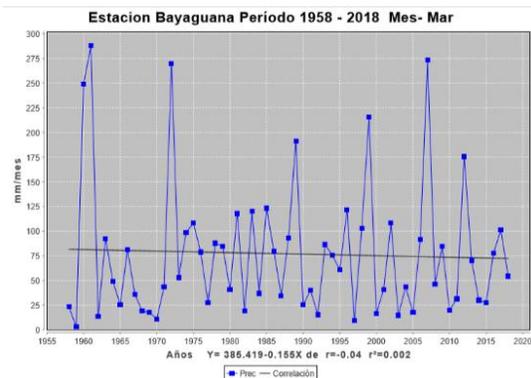
Enero



Febrero



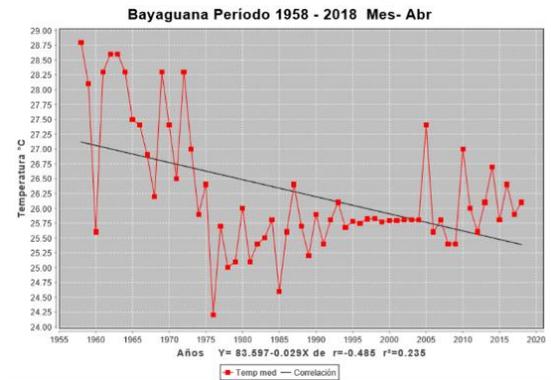
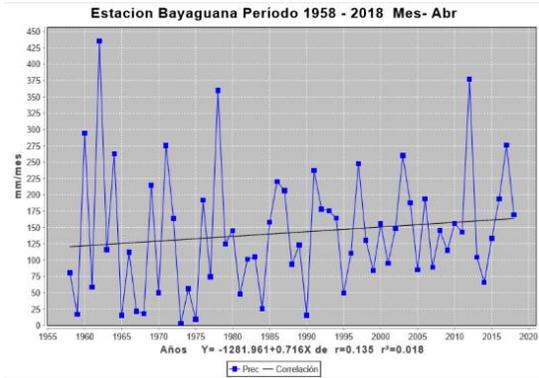
Marzo



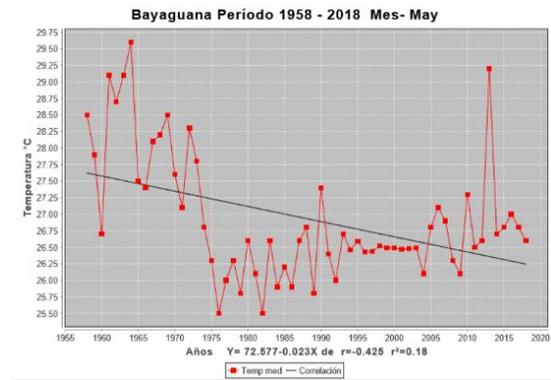
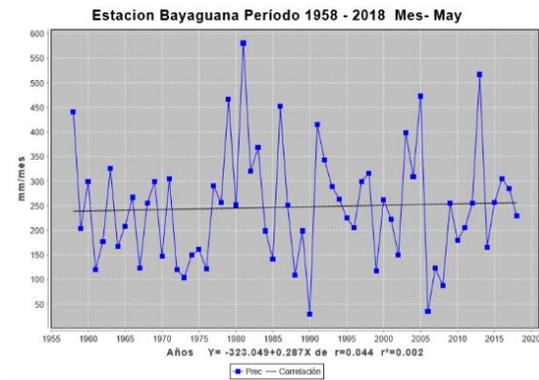
Precipitación

Temperatura media

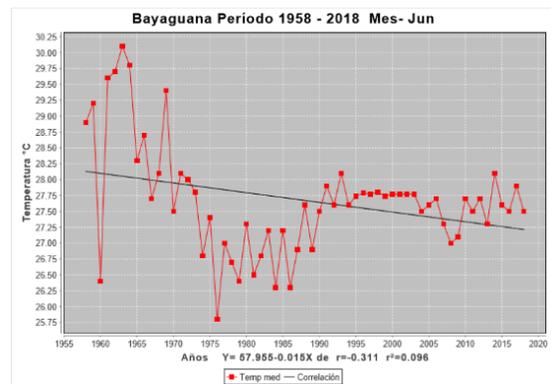
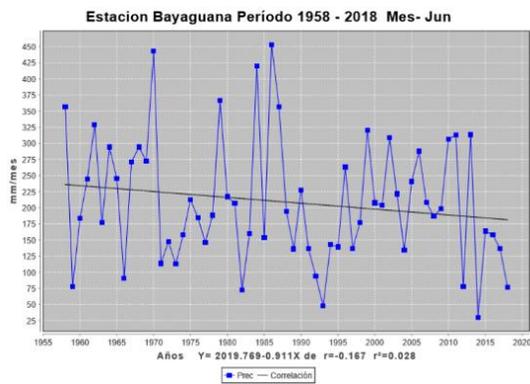
Abril



Mayo

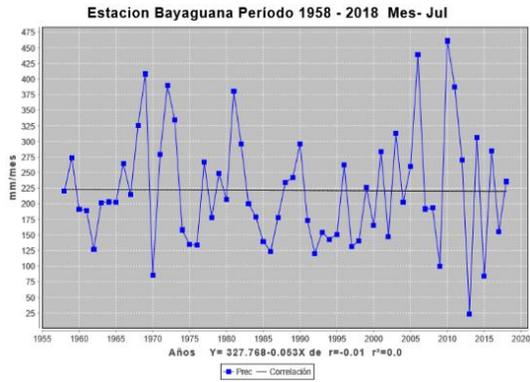


Junio

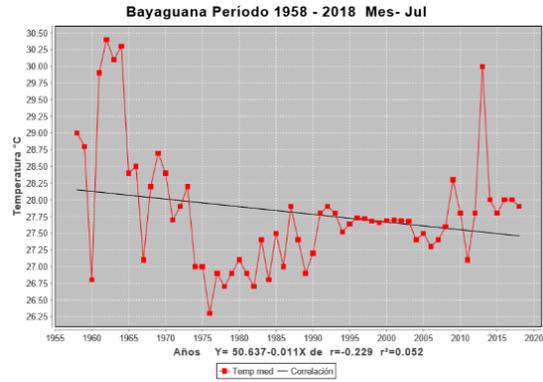


Precipitación

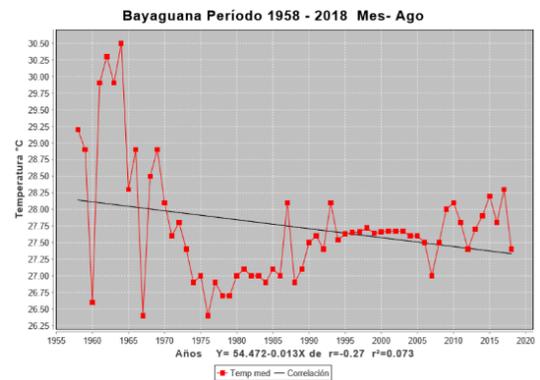
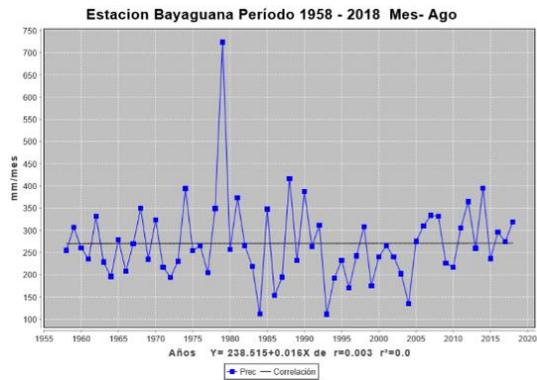
Julio



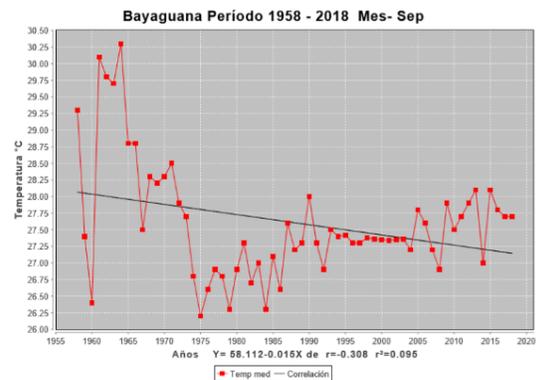
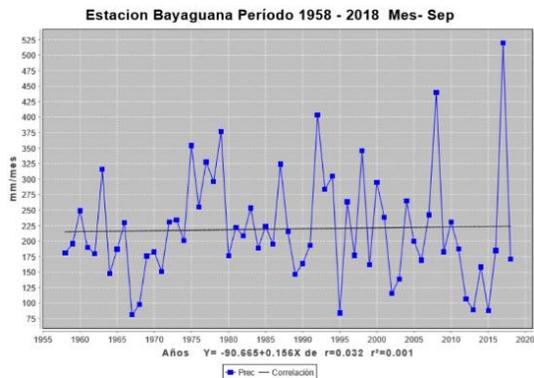
Temperatura media



Agosto



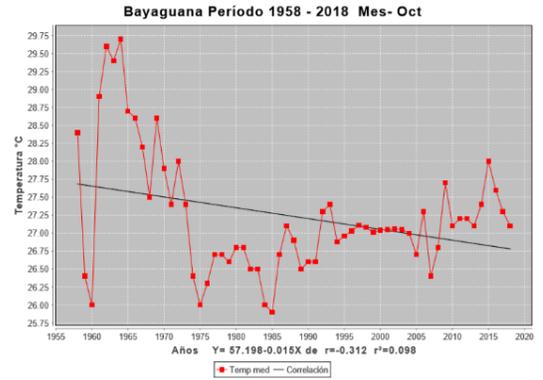
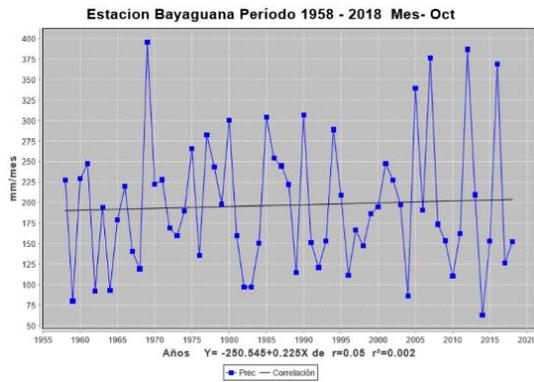
Septiembre



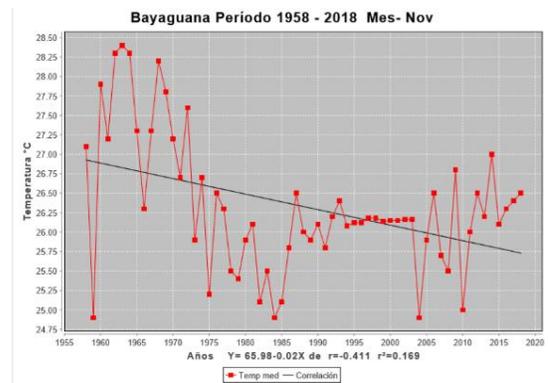
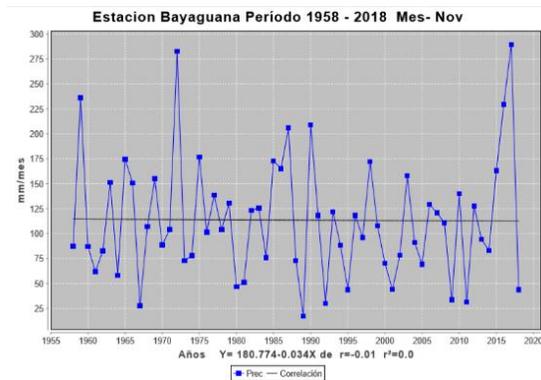
Precipitación

Octubre

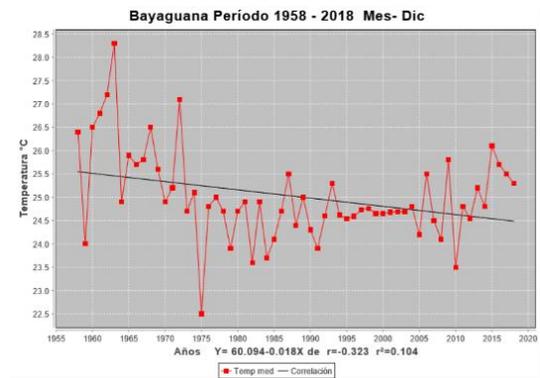
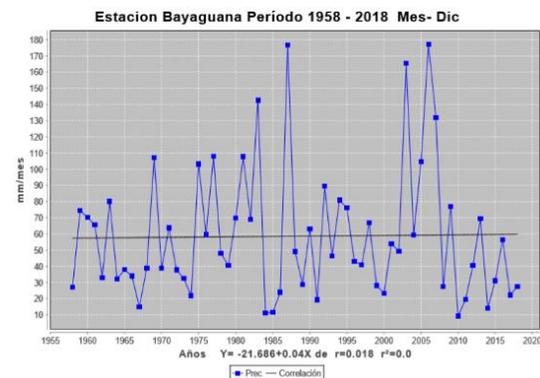
Temperatura media



Noviembre

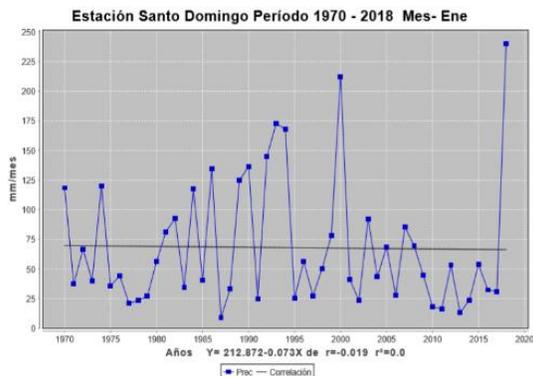


Diciembre



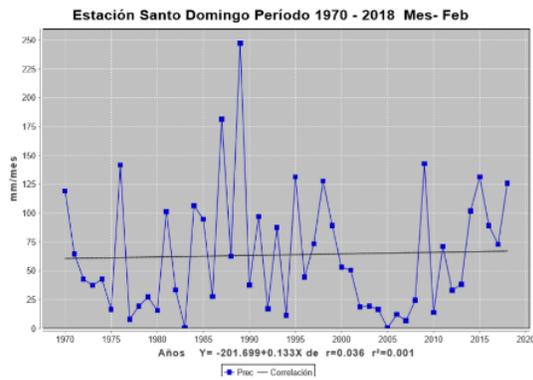
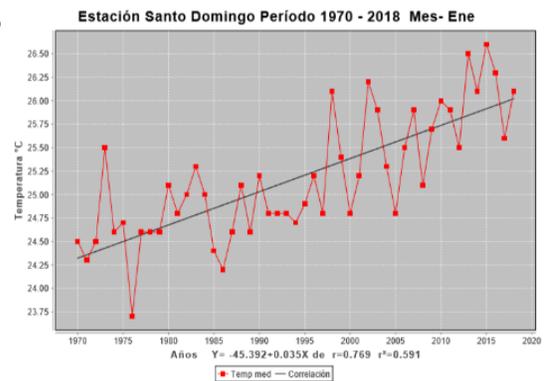
F) Tendencia estación Santo Domingo

Precipitación

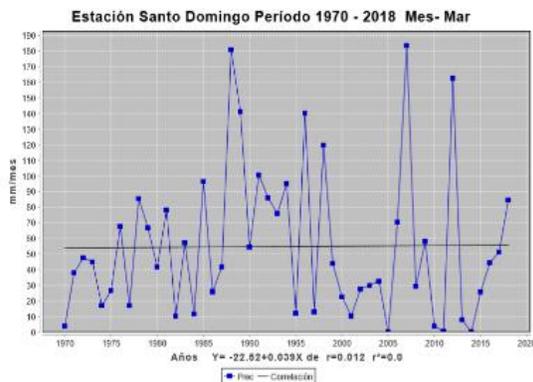
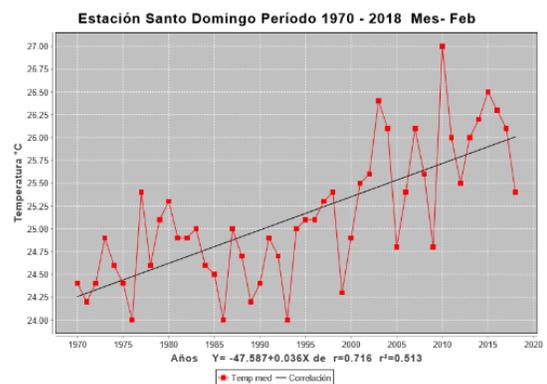


Enero

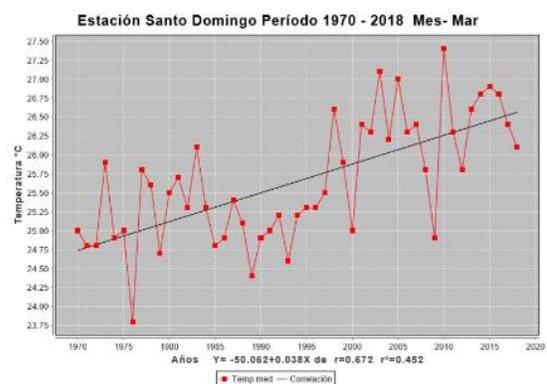
Temperatura media



Febrero

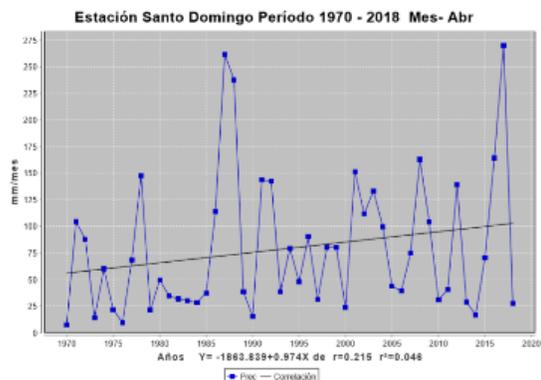


Marzo

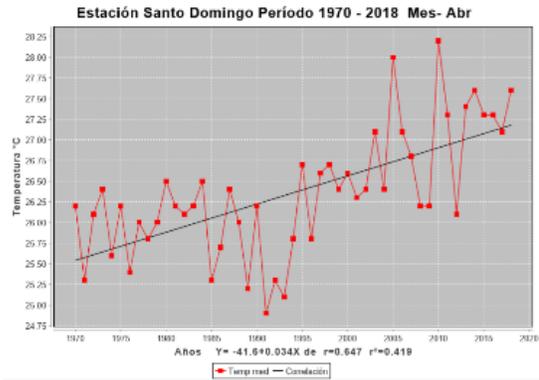


Precipitación

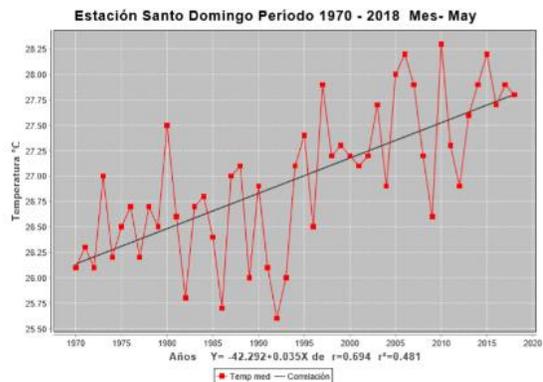
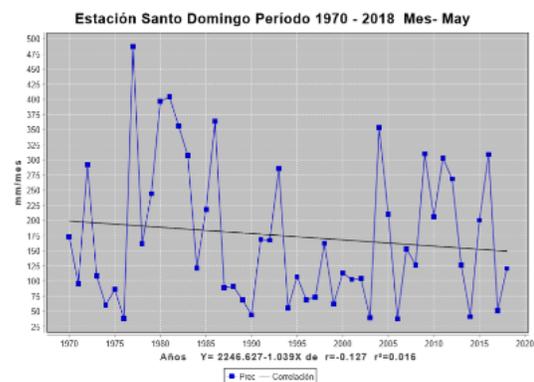
Abril



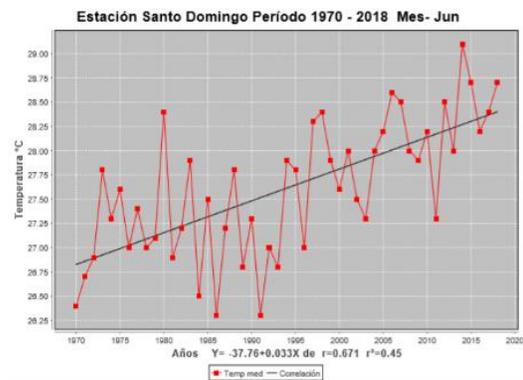
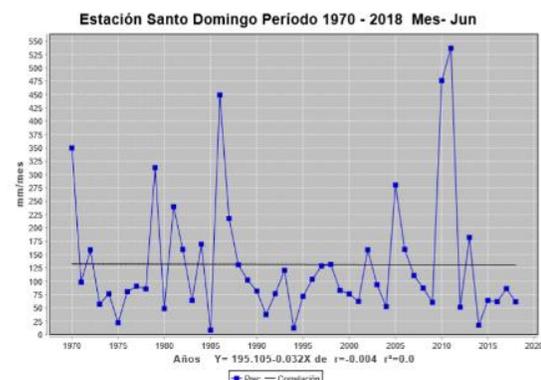
Temperatura media



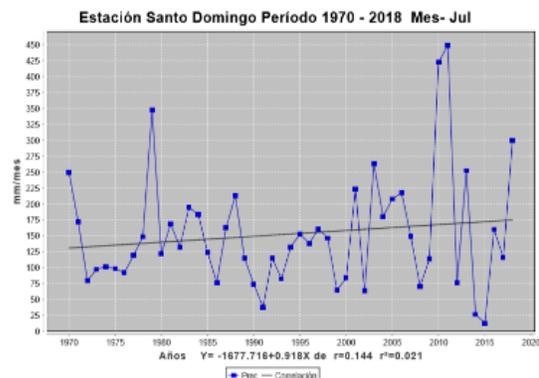
Mayo



Junio

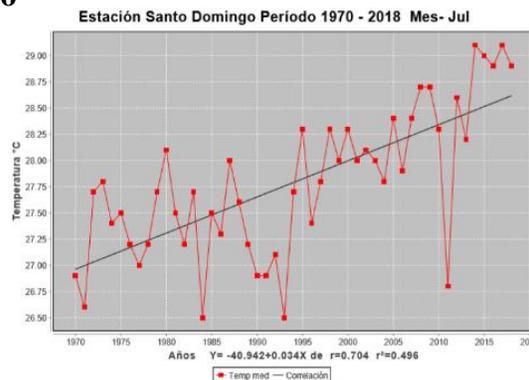


Precipitación

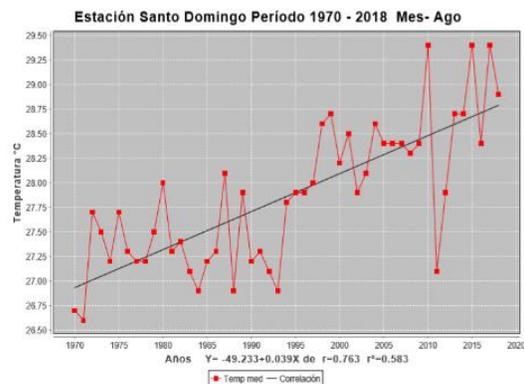
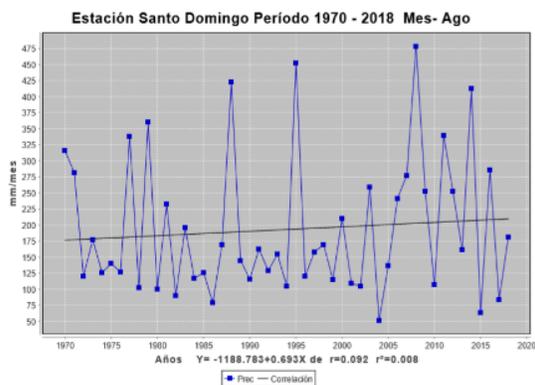


Temperatura media

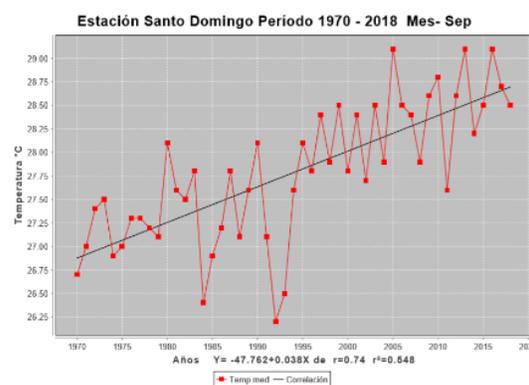
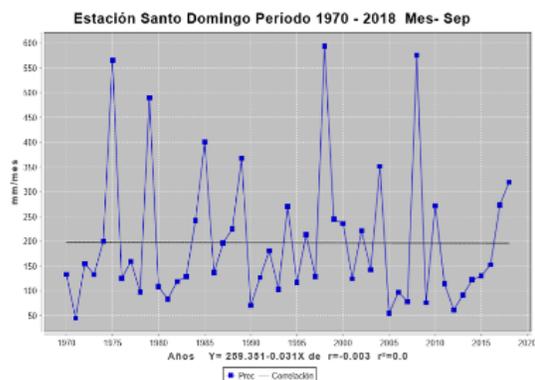
Julio



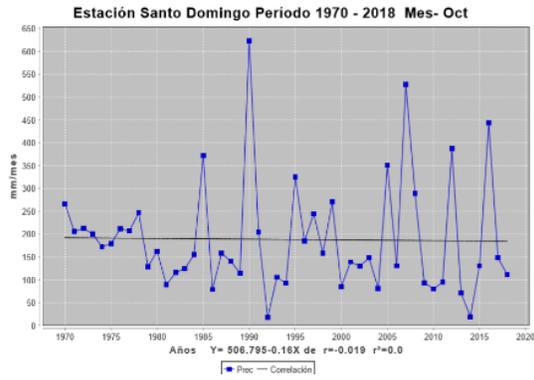
Agosto



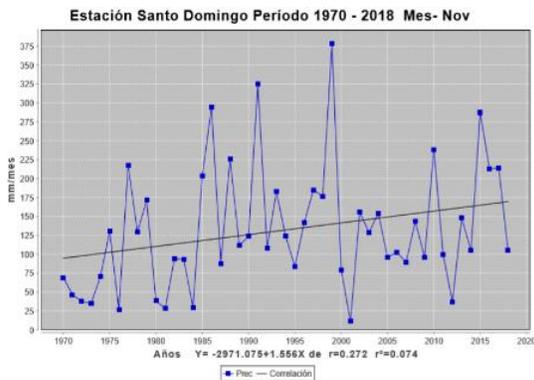
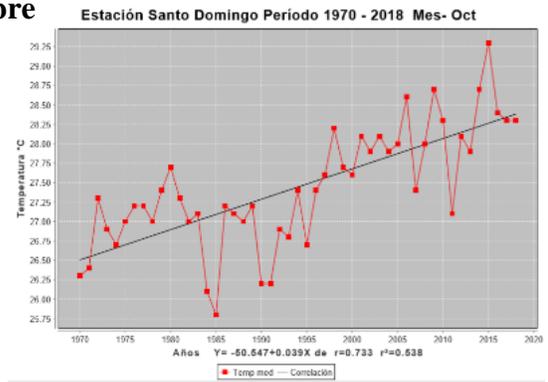
Septiembre



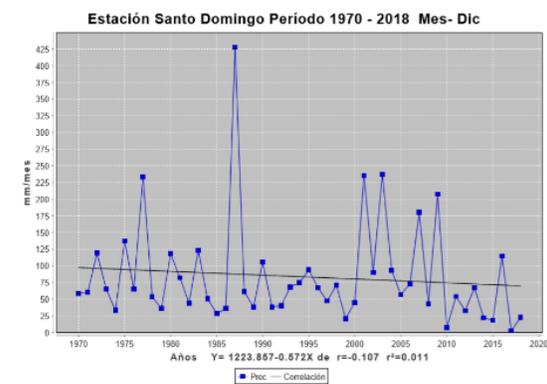
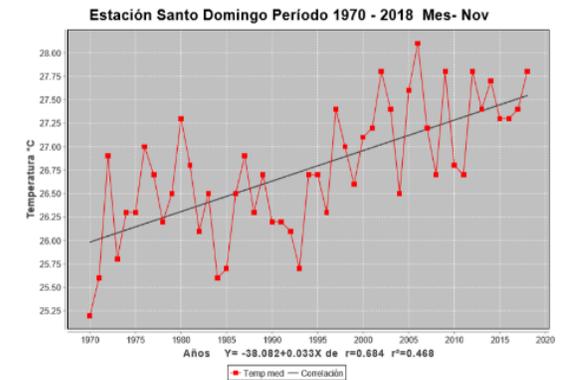
Precipitación



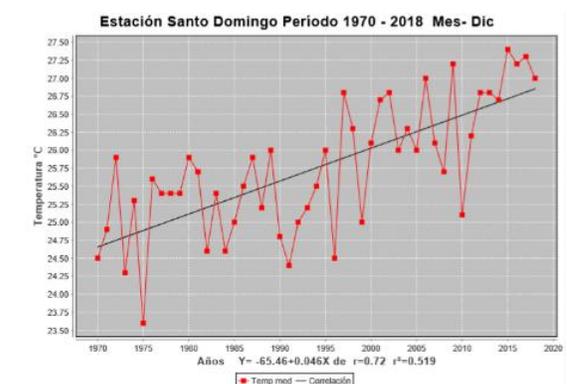
Octubre



Noviembre

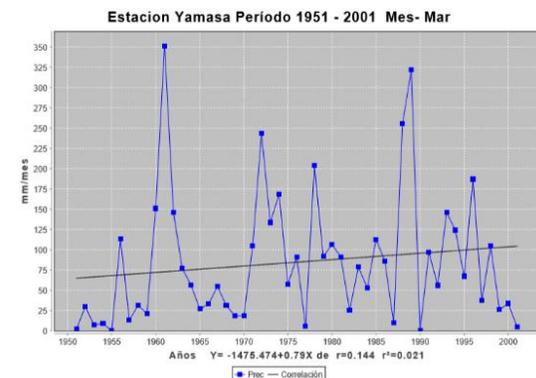
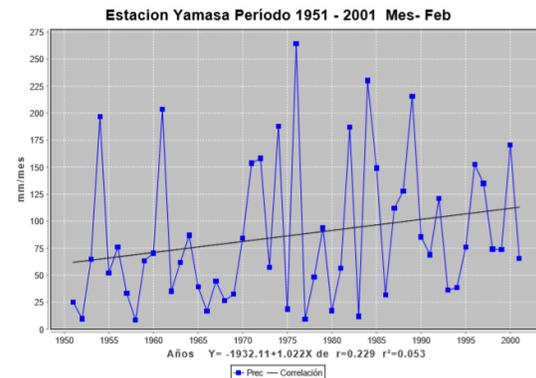
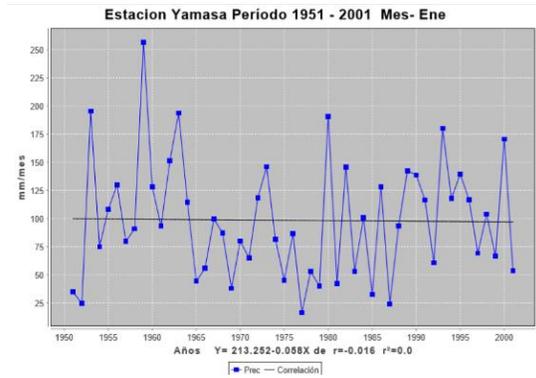


Diciembre



G) Tendencia estación Yamasá

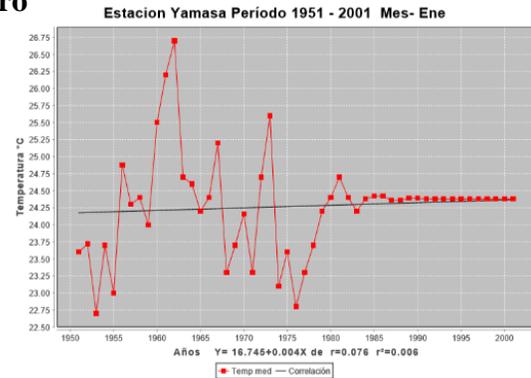
Precipitación



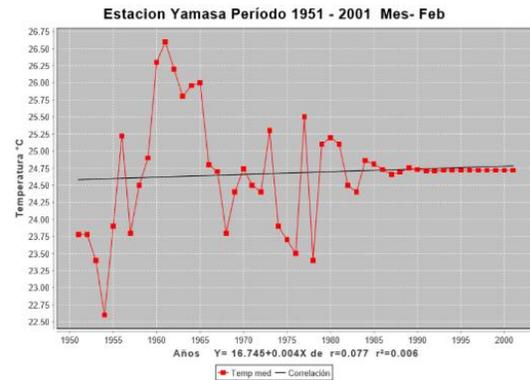
Tendencia

Temperatura media

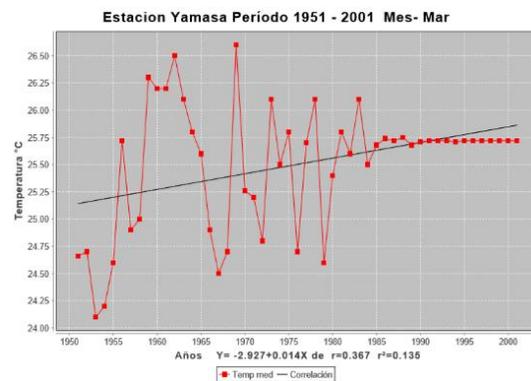
Enero



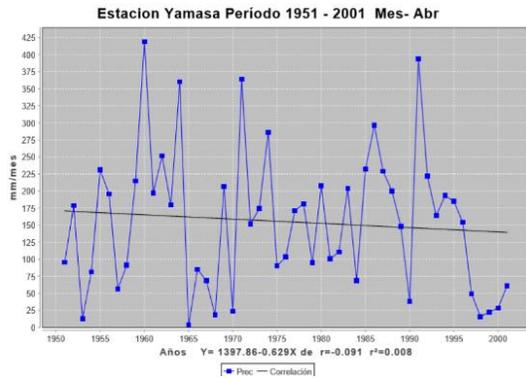
Febrero



Marzo

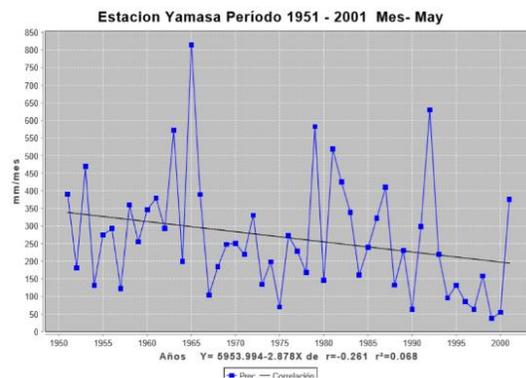
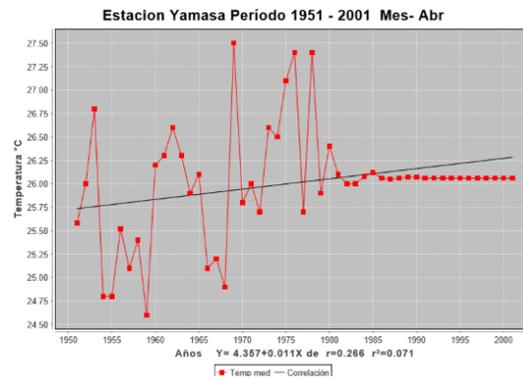


Precipitación

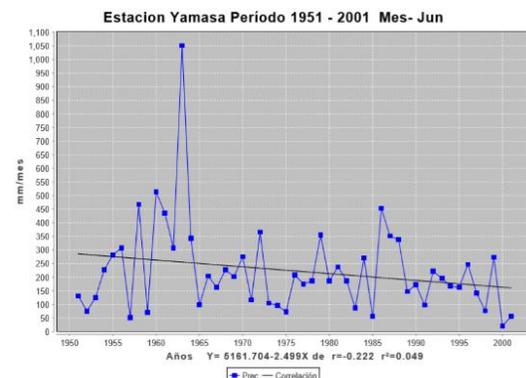
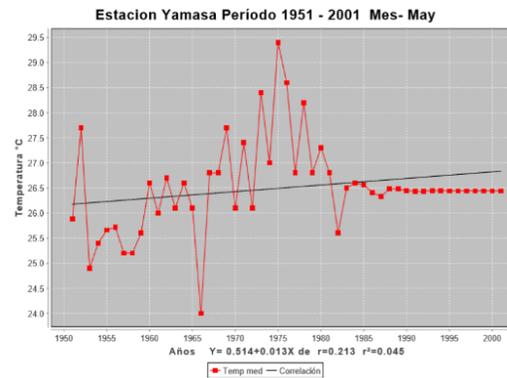


Abril

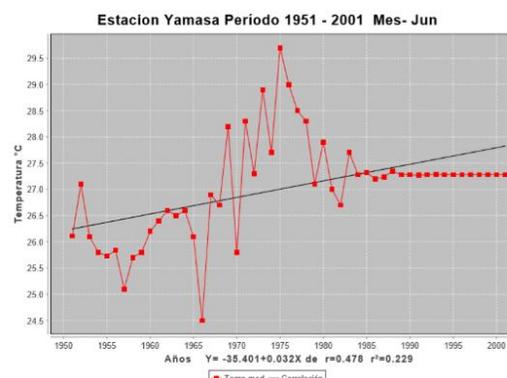
Temperatura media



Mayo

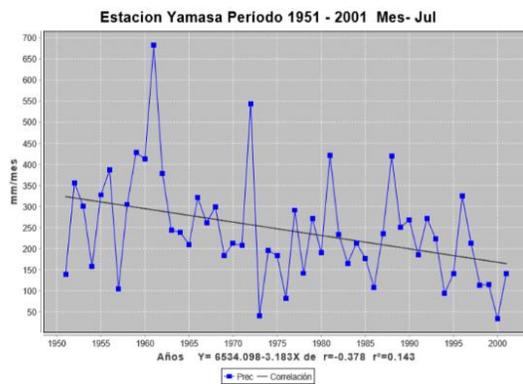


Junio



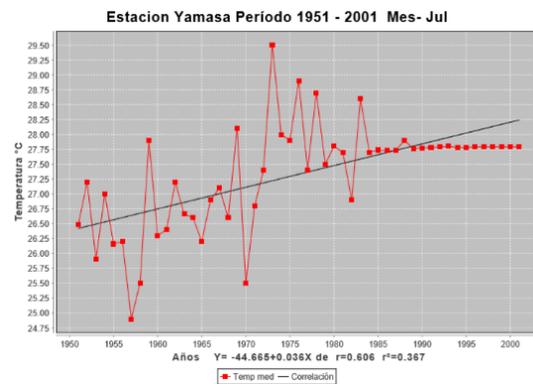
Tendencia

Precipitación

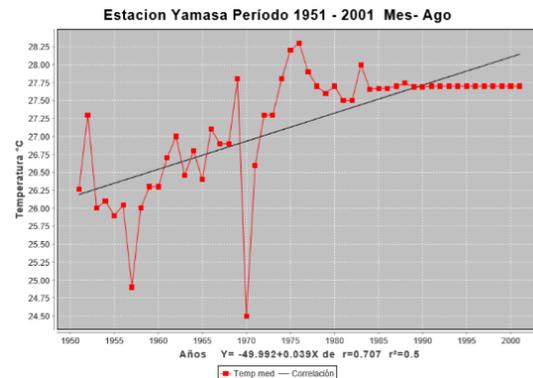
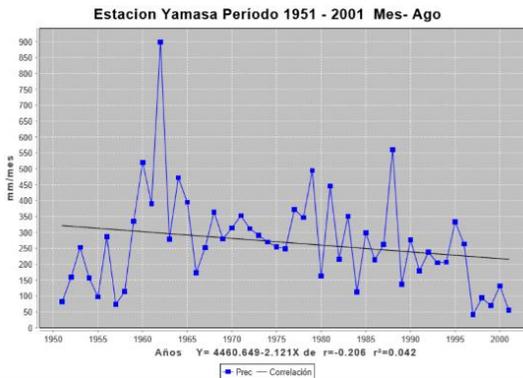


Temperatura media

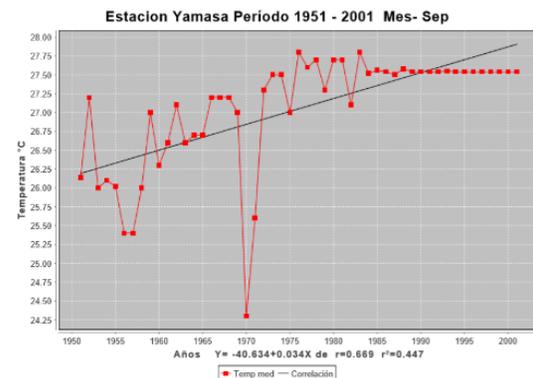
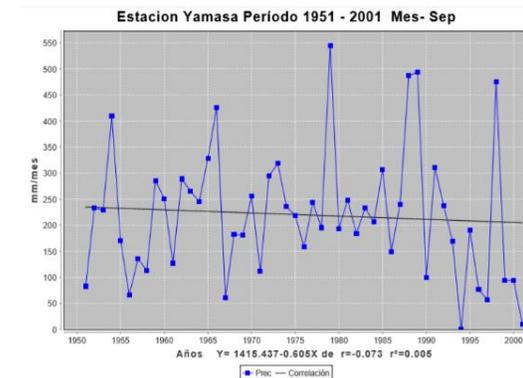
Julio



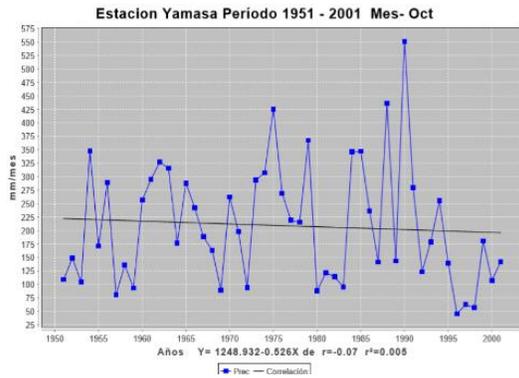
Agosto



Septiembre

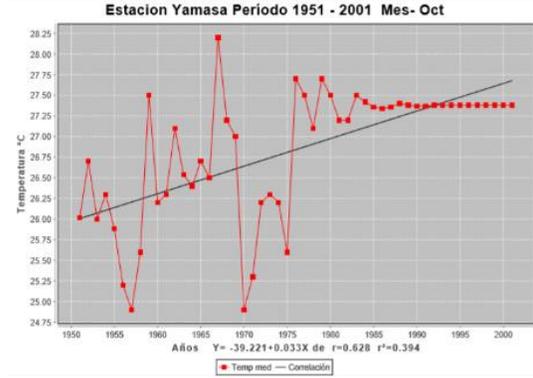


Precipitación

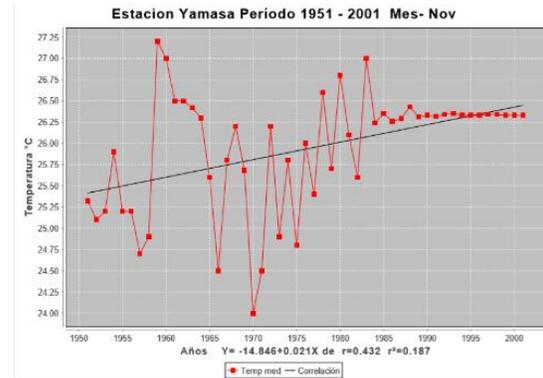
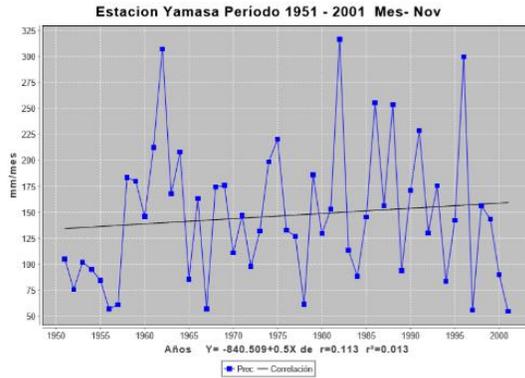


Octubre

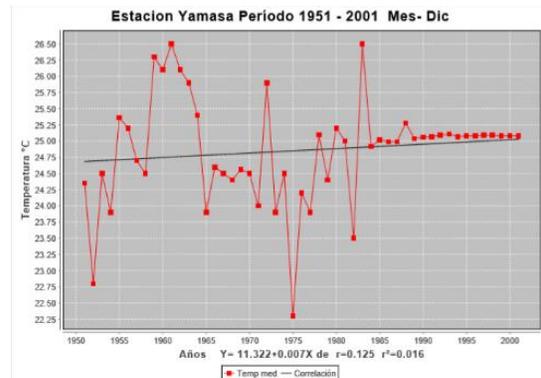
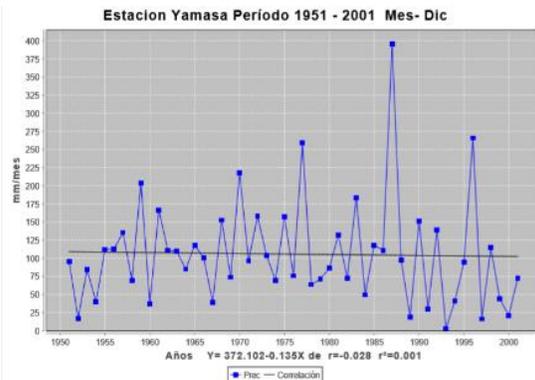
Temperatura media



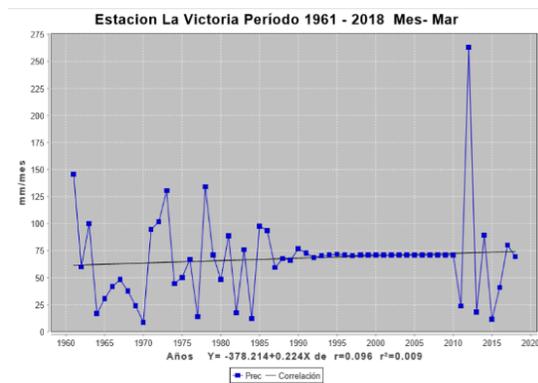
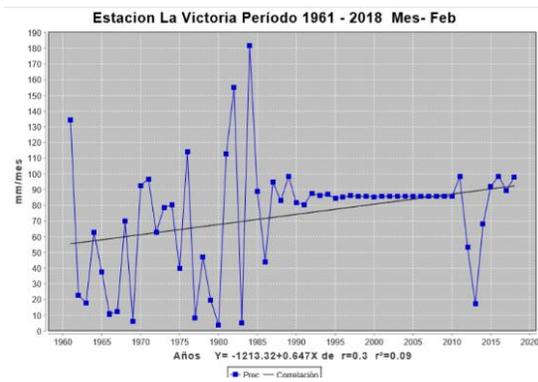
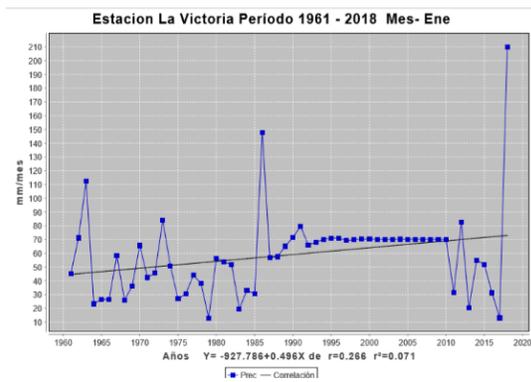
Noviembre



Diciembre

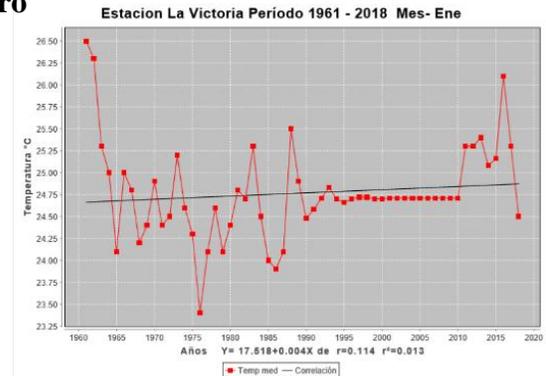


H) Tendencia estación La victoria Precipitación

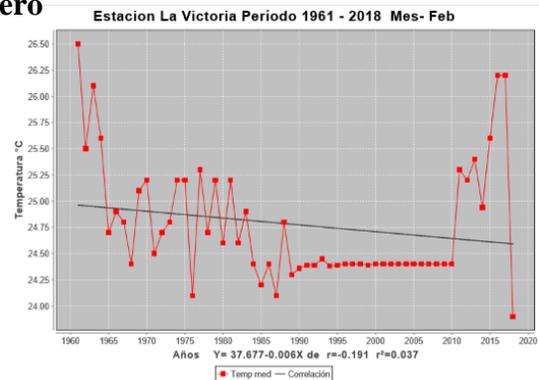


Temperatura media

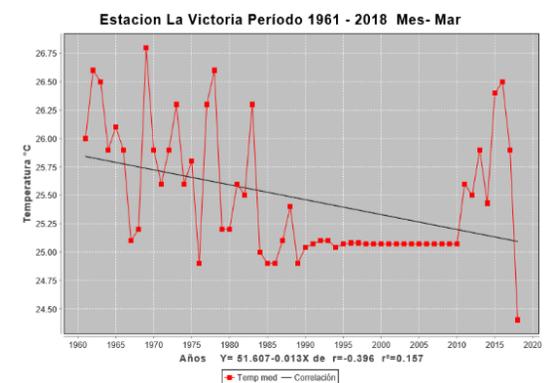
Enero



Febrero

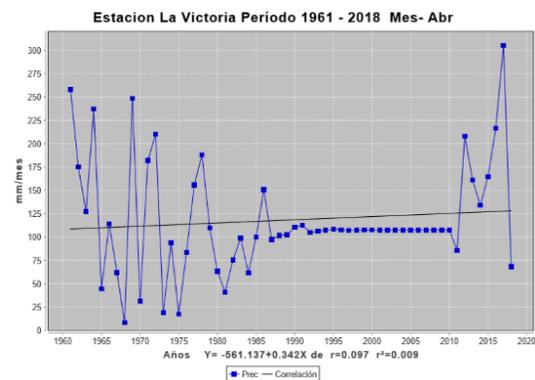


Marzo

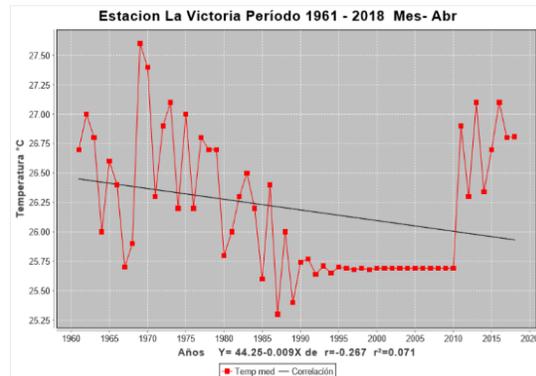


Precipitación

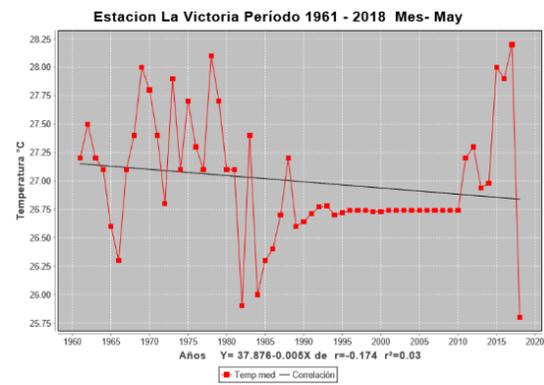
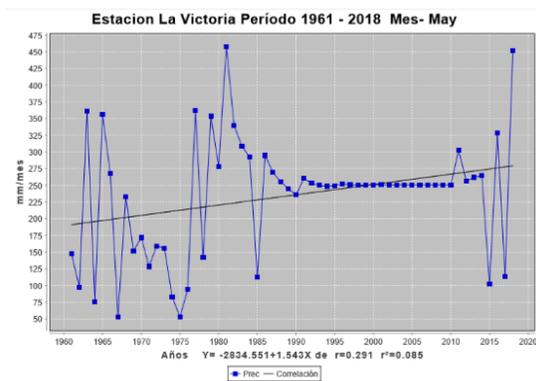
Abril



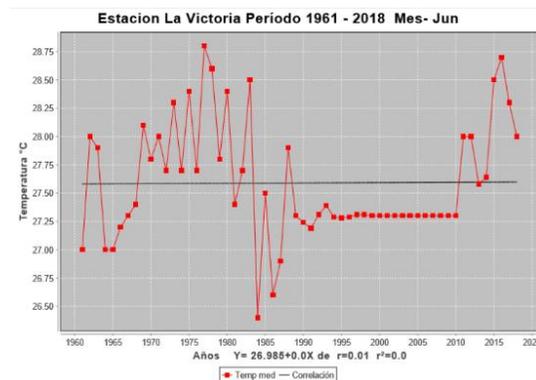
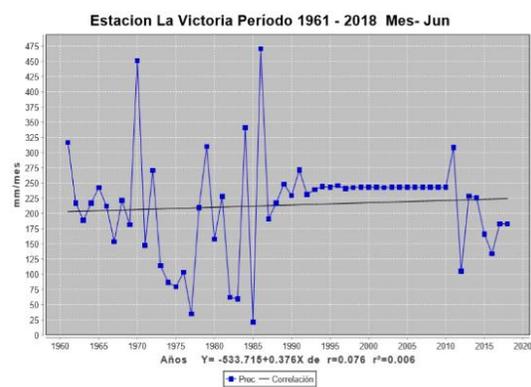
Temperatura media



Mayo



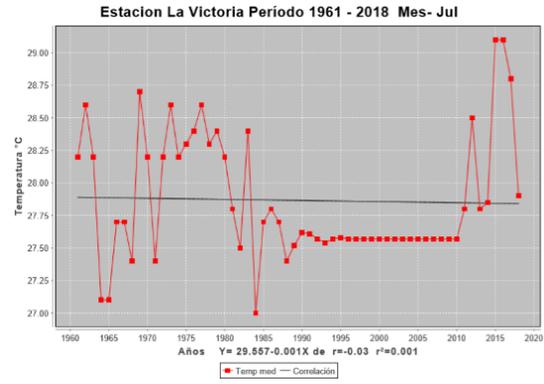
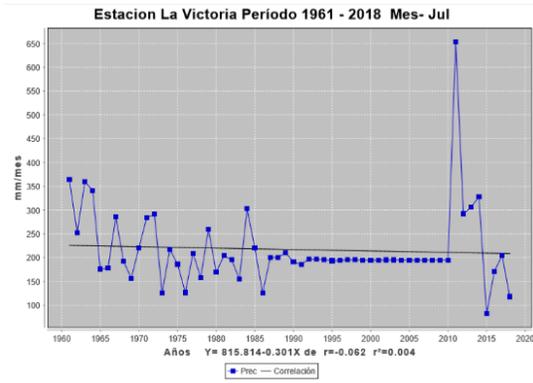
Junio



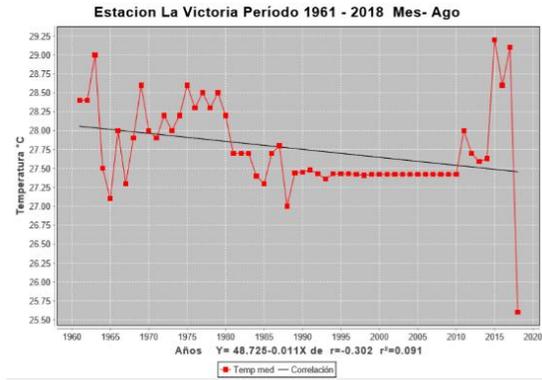
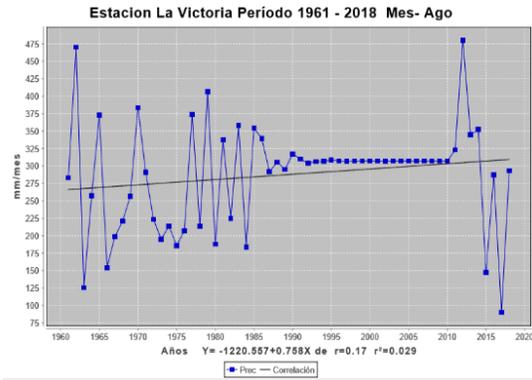
Precipitación

Temperatura media

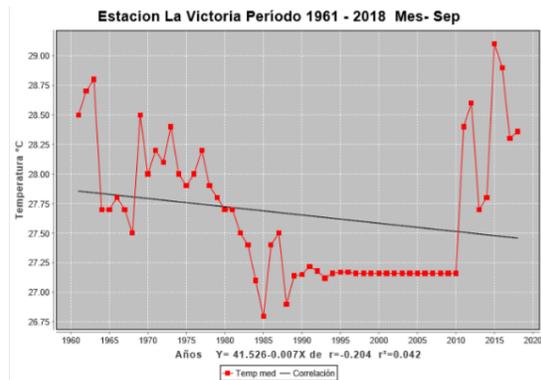
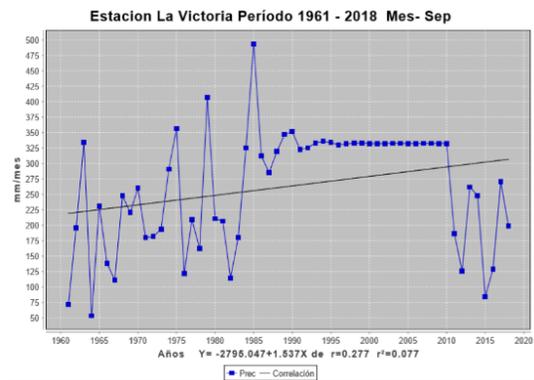
Julio



Agosto

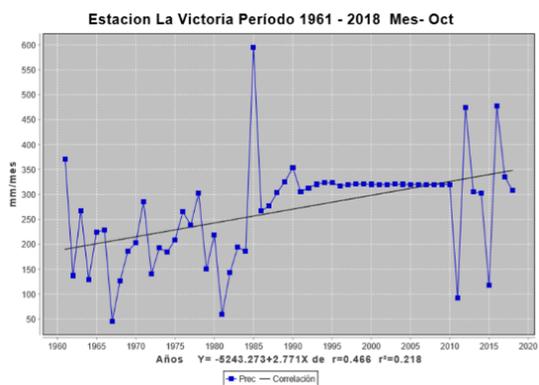


Septiembre

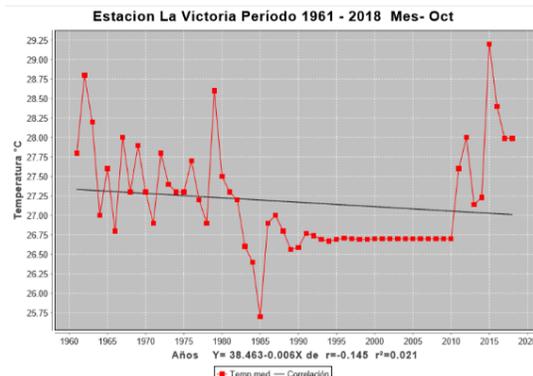


Precipitación

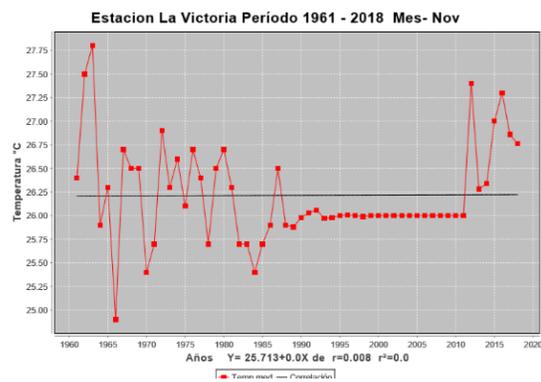
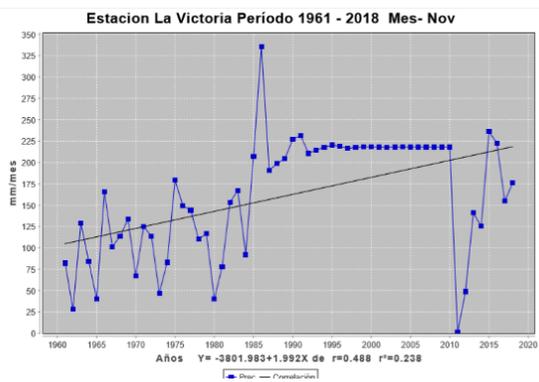
Octubre



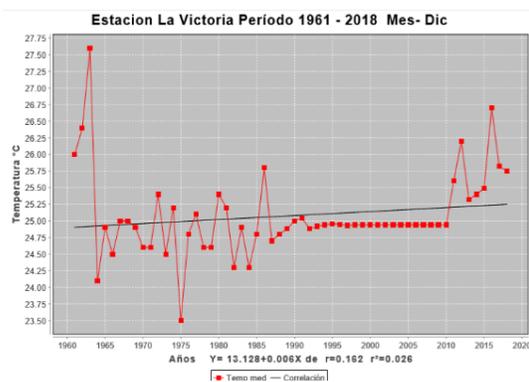
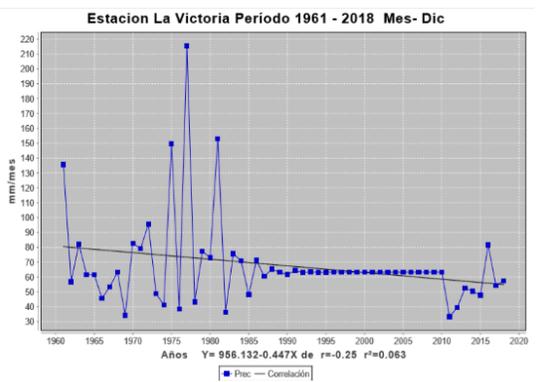
Temperatura media



Noviembre

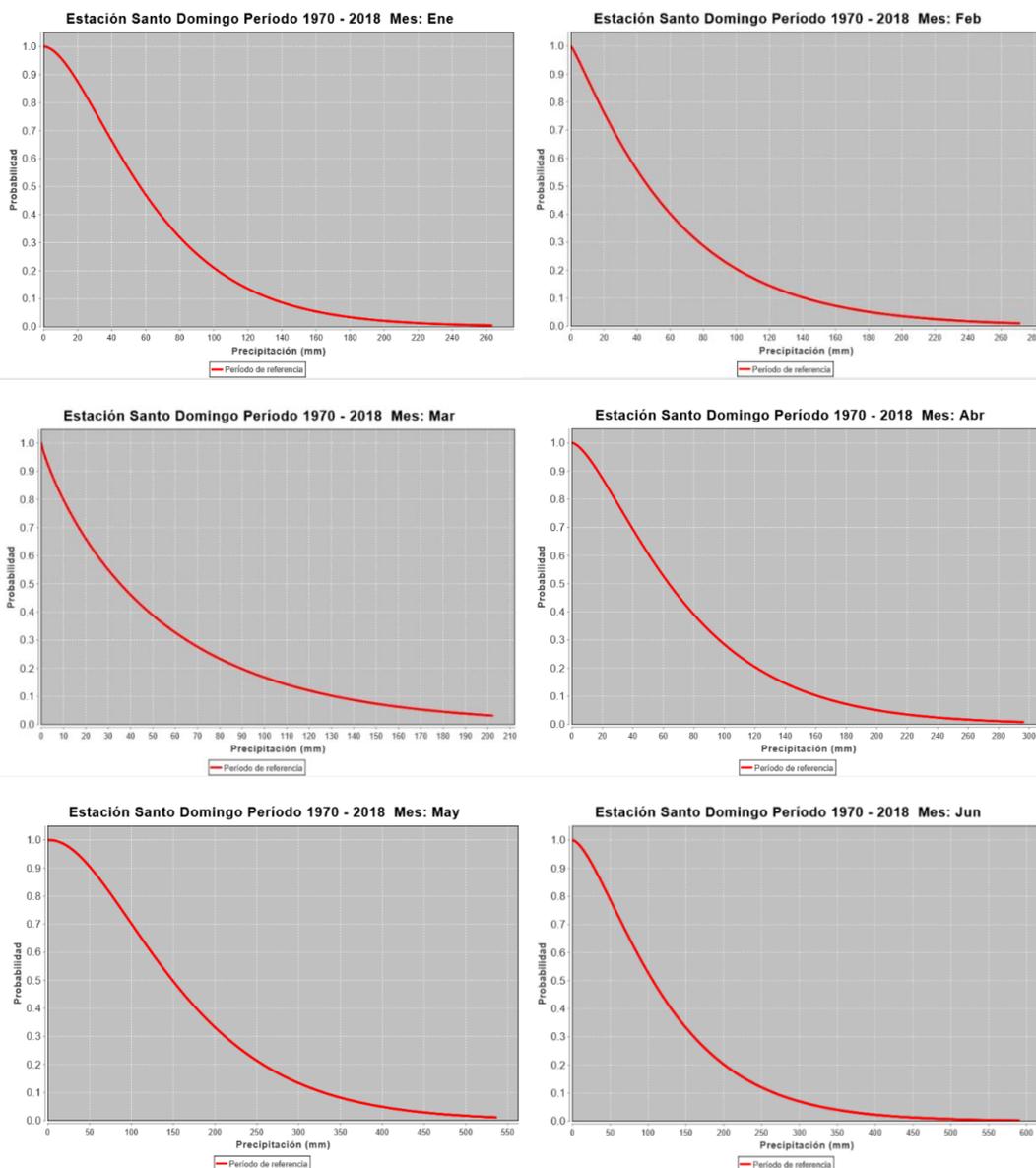


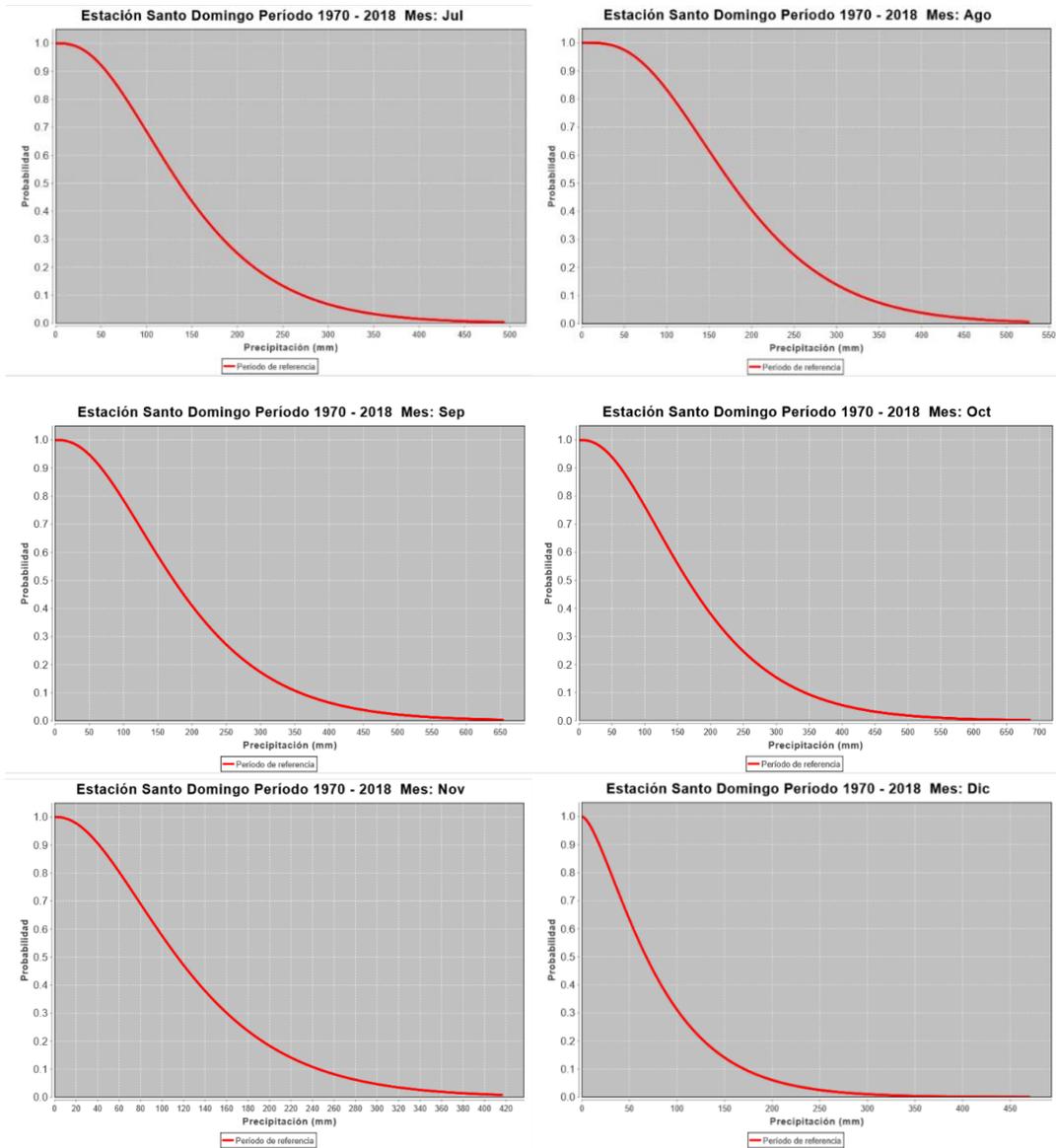
Diciembre



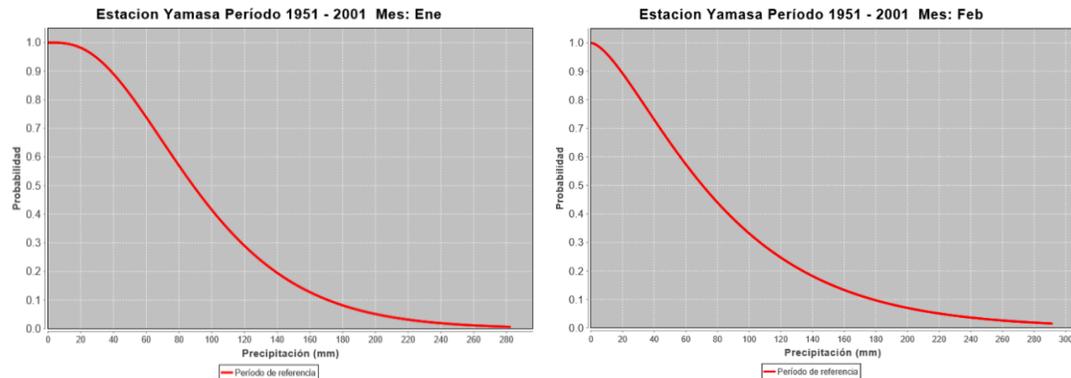
Anexo 2. Probabilidad de lluvias

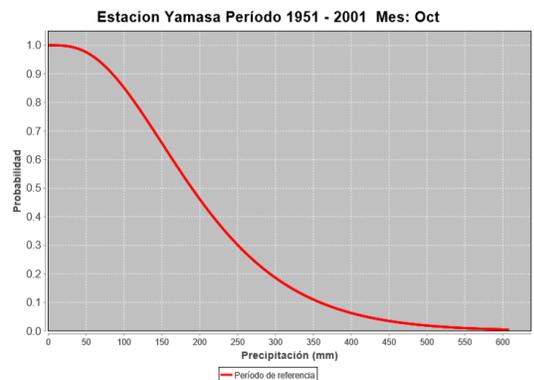
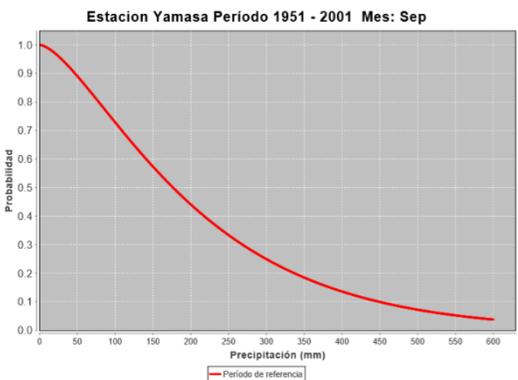
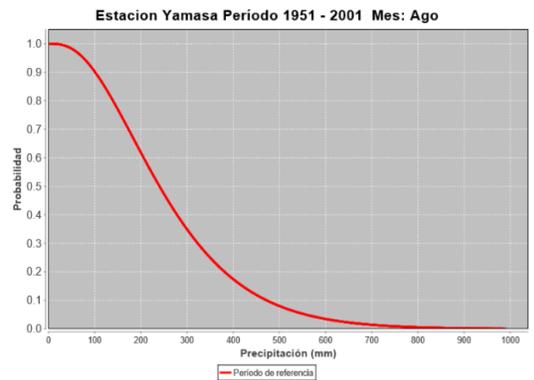
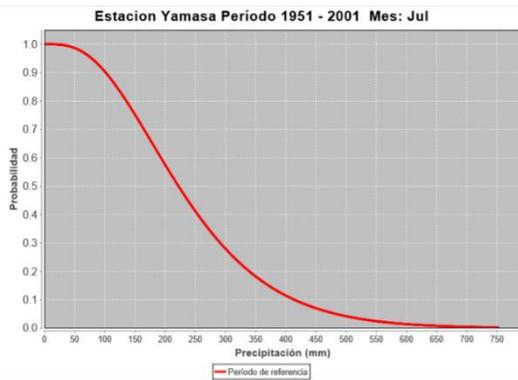
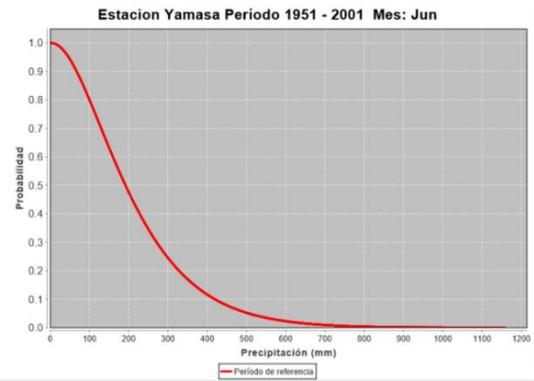
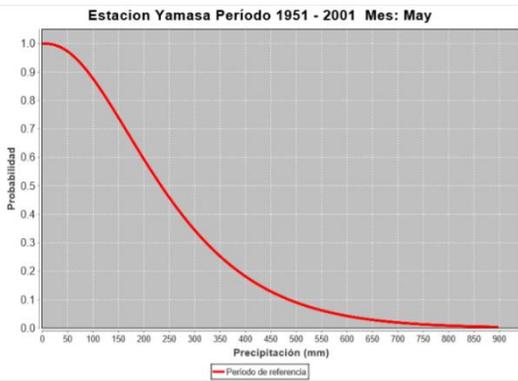
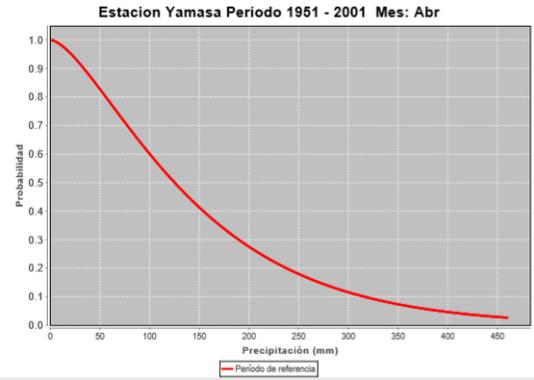
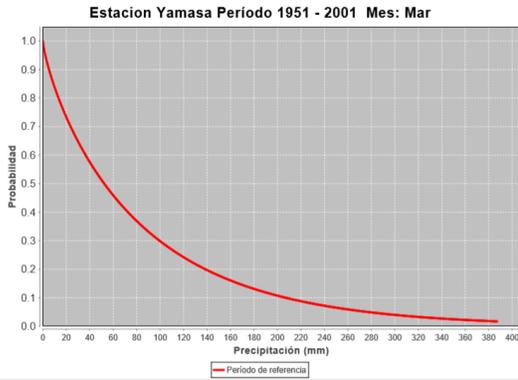
Estación Santo Domingo

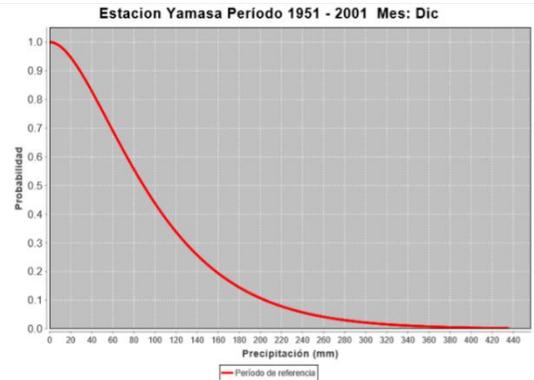
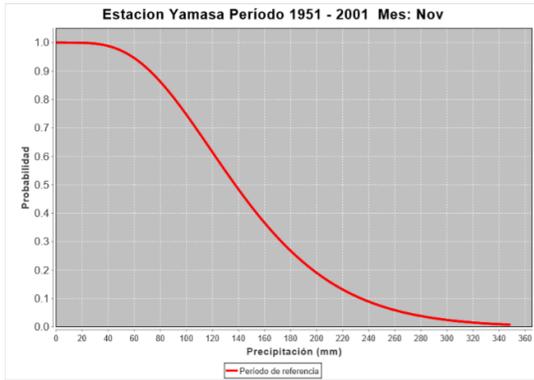




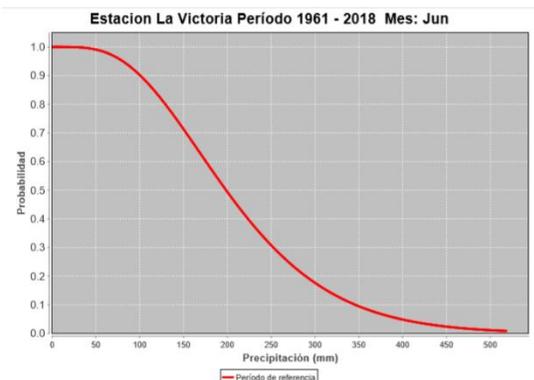
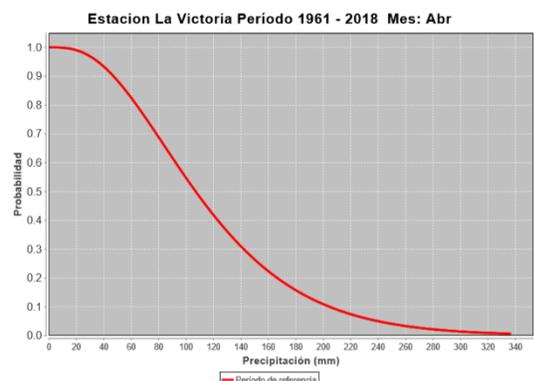
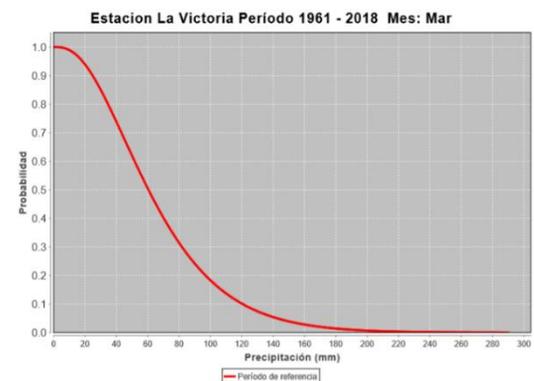
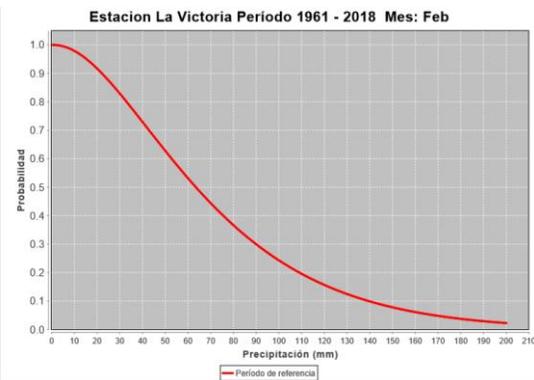
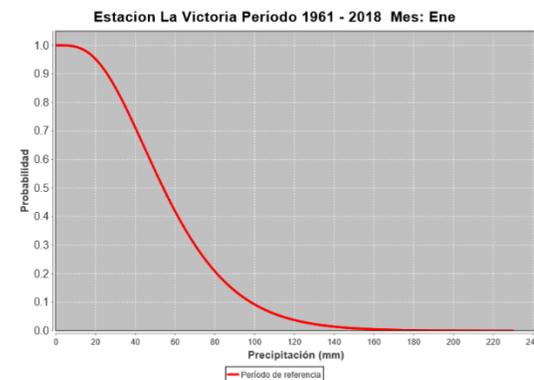
Estación Yamasá

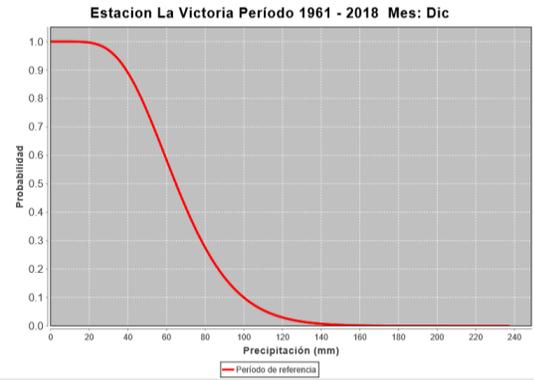
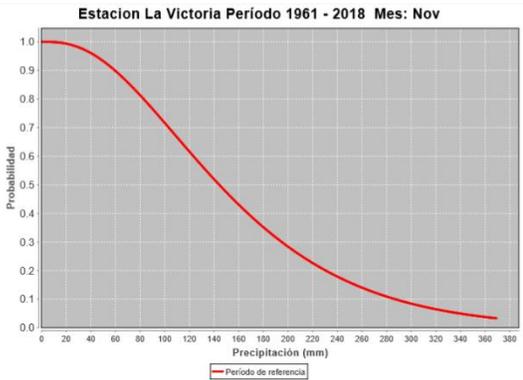
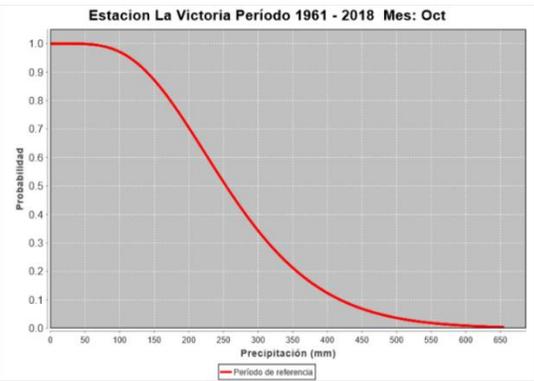
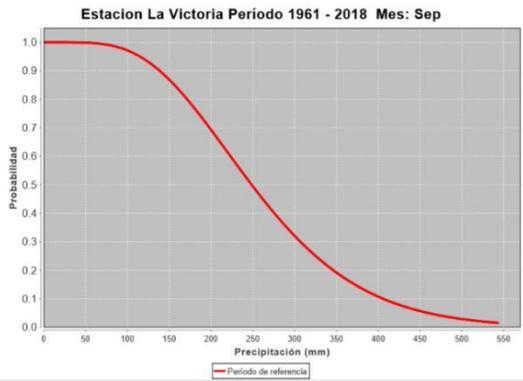
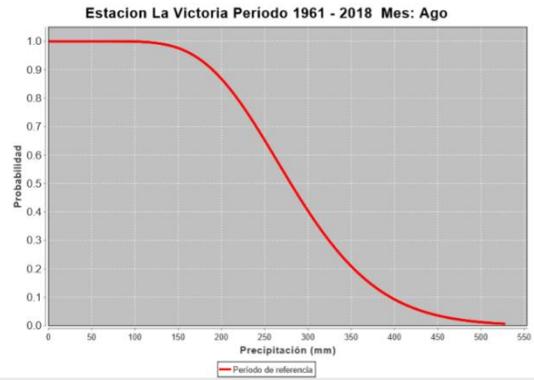
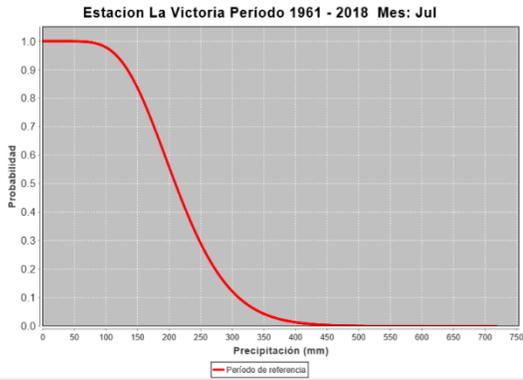




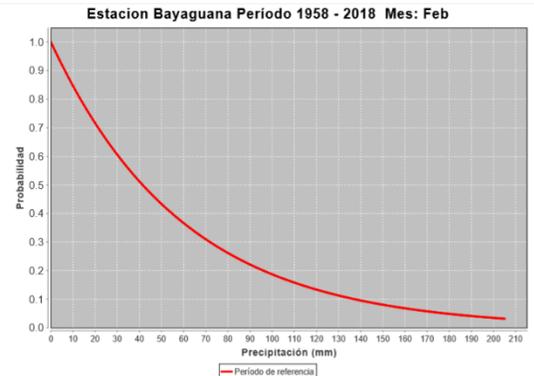
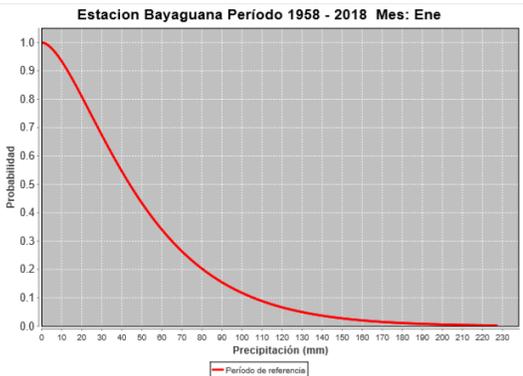


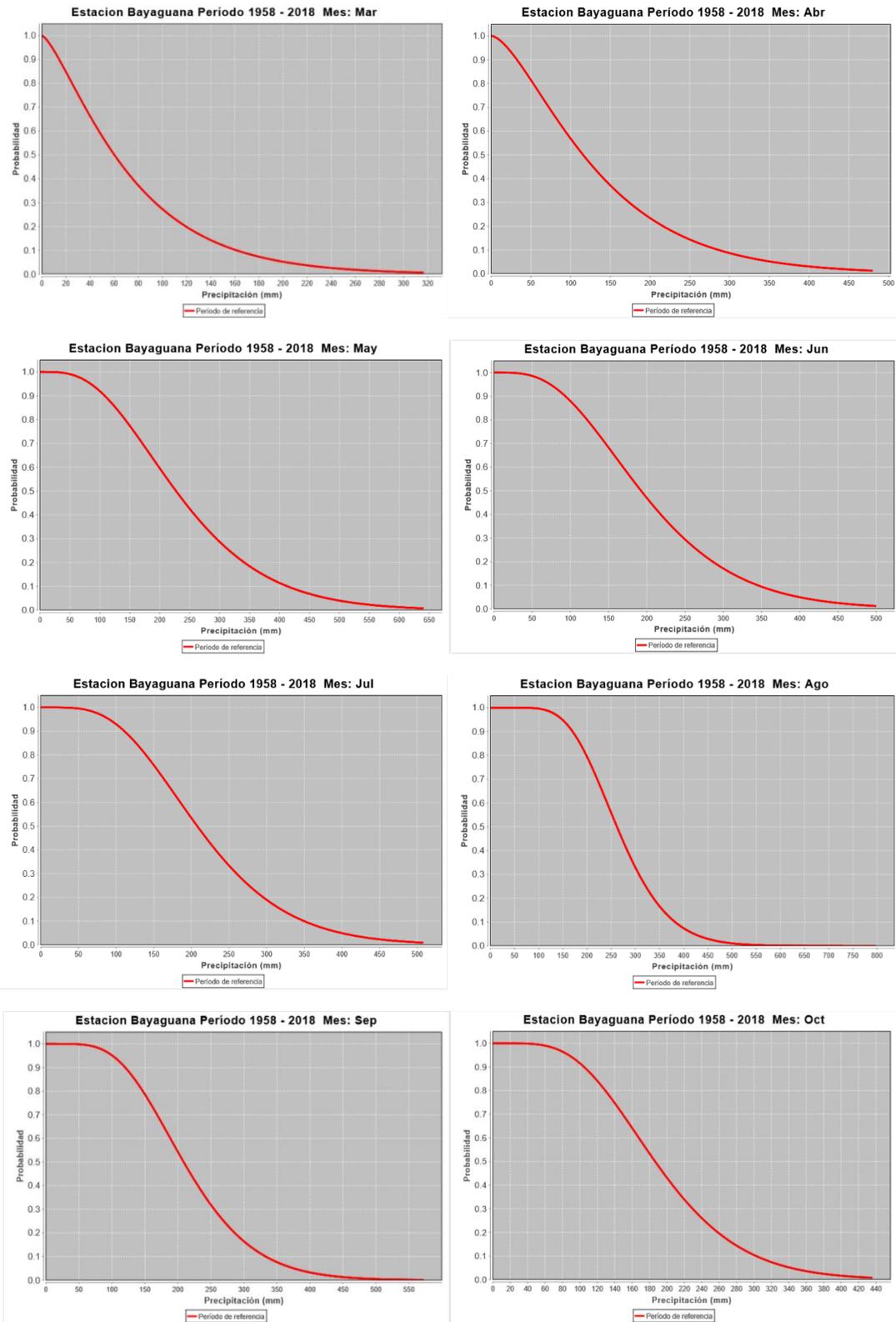
Estación La Victoria

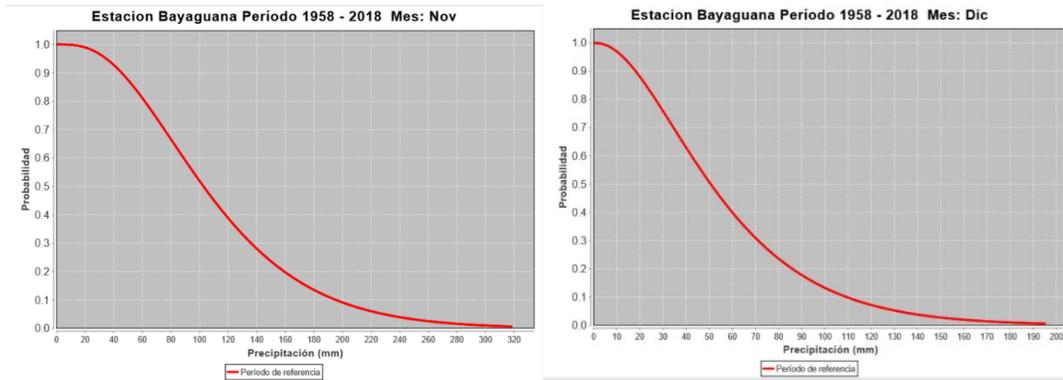




Estación Bayaguana







Anexo 3. Parámetros utilizados para validar y valorar los indicadores de vulnerabilidad global ante inundaciones

A continuación, se presentan las consideraciones tomadas al momento del evaluar cada indicador. Donde se observan los parámetros seguidos para la validación y valoración de cada indicador para la determinación de la vulnerabilidad global ante la ocurrencia de inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Ozama.

Tipo de vulnerabilidad	Indicador	Lineamientos
Física	Número de edificaciones	Se tomaron como edificaciones las viviendas, centros comunales, comercios que se encuentren las zonas de inundaciones, independientemente de su estado de construcción, siendo mayor a 8 edificaciones una vulnerabilidad alta.
	Número de estructuras por tipo de construcción	Se contaron las estructuras en la zona de estudio y se analizarán los diferentes materiales que están hechas, siendo la madera el peor de los escenarios.
	Número de puentes con capacidad hidráulica para avenidas máximas	Se listaron la cantidad de puentes existentes y fue evaluada su vida útil desde su construcción hasta la fecha, observando si ha habido algún cambio que le impida soportar avenidas máximas (avenidas que produzcan inundaciones en la zona).
	Número de viviendas en mal estado	Fueron consideradas viviendas en mal estados las que tengan apariencias poco seguras, con materiales colgando, o no aptos para la construcción en el lugar. Considerando factores como deslizamientos, rupturas, peligro de caídas de edificaciones, irregularidades verticales y horizontales etc., factores

		considerados en la ficha técnica FEMA 154 para el analizar edificaciones.
	Número de infraestructuras existentes	Fueron consideradas como estructura destinada a emergencia cualquier lugar que haya sido utilizado en eventos de inundaciones ocurridos y cuente con la capacidad de proteger las personas afectadas por el evento (escuelas, albergues, centros comunales etc.).
	Número de viviendas ubicadas entre 0 y 160 m de un río o quebrada más cercana.	Se contaron las casas que se encuentran dentro de una franja horizontal de 160 m de distancia a ambos lados del tramo de estudio, iniciando a partir de la confluencia (los tres brazos) hasta agua abajo (Zona colonial).
	Número de meses con accesibilidad durante el año	Se tomaron como meses de poca accesibilidad los meses que sean poco transitables u accesibles del año, considerándose como limitado la falta de acceso, ya sea por organismos de emergencia o habitantes de la zona de estudio.
Social	Número de organizaciones e instituciones activas relacionadas con la gestión del riesgo existente en la zona de estudio.	Se contabilizaron las instituciones que funcionan como organismos de emergencia o ayuda ante la ocurrencia de una eventualidad. Estas son las instituciones que han servido de soporte cuando ha ocurrido un evento.
	El % de las familias, que viven en zonas de riesgo a inundaciones que tienen un plan de emergencia	Se consideraron las familias que tienen claros los pasos a seguir tras la amenaza de inundaciones.
	¿Qué tan lejos quedan los centros de salud?	El nivel de lejanía o cercanía de los centros de salud fue determinado por el entrevistado, según el tiempo que tome llegar al centro de salud, donde 1 hora será considerado como muy lejos, 45 minutos lejos, 30 minutos cerca, mientras que 5 min será considerado como muy cerca, siendo las familias más lejanas las más vulnerables.

	¿Qué % de la población tiene acceso a radio, teléfono, tv e internet?	Se contabilizó cuántas de las familias entrevistadas tienen acceso a los diferentes medios de comunicación, siendo las familias con menos acceso las más vulnerables. Siendo 4 el máximo y ninguno el mínimo, donde las familias que no posean medios de comunicación serán más vulnerables que las que tengan 4.
Ecológica	El grado de degradación de la superficie por deforestación, sobrepastoreo, uso intensivo, erosión, etc.	Fueron consideradas las superficies que se encuentren en conflicto por sobreuso del suelo, entendiéndose por sobreuso la acción de ocupar terrenos destinados como zonas no habitables o forestales del río.
	El % longitudinal de franja ribereña de al menos de 5 m de ancho, a ambos lados del cauce del río eliminada	Se realizó una evaluación visual y se determinará qué porcentaje de la franja ribereña está cubierto, siendo mayor a 20% una vulnerabilidad alta para la zona.
Económica	Ingreso per cápita de las familias que viven en zonas de riesgo a inundaciones	¿Cuál es el ingreso mensual por familias en cada vivienda?
	El % de habitantes desempleados	Fueron evaluados cuántos miembros de las familias entrevistadas se encuentran desempleados al momento de realizar la entrevista.
	El % de habitantes que no tiene acceso a servicios públicos	Fueron evaluados los habitantes que no tengan acceso a servicios públicos, entendiéndose por servicios públicos aquellas actividades llevadas a cabo por los organismos del Estado o bajo el control y la regulación de este, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de una colectividad (transporte, luz, agua etc.).
Política	El grado de cumplimiento de normativa ambiental que reduce riesgo a inundaciones	Entiéndase por normativa ambiental los requisitos establecidos para operar de manera correcta o ejecutar cualquier acción que ponga en peligro el estado del cuerpo de agua y sus componentes naturales.
	El grado de relevancia para los tomadores de decisiones del problema de inundaciones	Se le cuestionó al entrevistado, ¿qué tan importante, según su criterio, es el tema de inundaciones para los organismos tomadores de decisiones relevantes al tema?

	No. De proyectos ejecutados por año	Cuántos proyectos son realizados al año, relacionados a la solución de la problemática de inundaciones.
	% de líderes que tiene la comunidad para representarlos	Se cuestiona al entrevistado, si considera que tienen un líder que los representa ante los tomadores de decisiones.
Ideológica	El % de la población que considera que las inundaciones ocurren porque Dios así lo tiene destinado o porque simplemente tienen que ocurrir	¿Qué porcentaje de la población corrobora la idea de que la ocurrencia de inundaciones es por motivos religiosos?
Educativa	El % de la población que vive en zona de riesgo a inundaciones que ha recibido capacitación en ese tema	¿Qué porcentaje de la población recibe capacitaciones acerca en el tema de inundaciones?
	Número de eventos anuales de capacitación sobre inundaciones.	¿Cuántos eventos se realizan al año, relacionados a la prevención y mitigación del riesgo ante la ocurrencia de inundaciones?
	% de analfabetismo	Se clasificará el grado de escolaridad de la población en cinco renglones (ninguno, básico, medio, universitario y otro), siendo las personas con ningún grado académico, las más vulnerables ante la ocurrencia de inundaciones.
Técnica	El % de la infraestructura con técnicas adecuadas de construcción	Según las normativas del Ministerio de Obras Públicas, el cual especifica las técnicas de construcción, cuales infraestructuras cuentan con las técnicas adecuadas.
	Disponibilidad de equipos	Existen suficientes equipos disponibles para la prevención y mitigación del riesgo ante la ocurrencia de inundaciones, entiéndase por equipos ambulancias, autobuses, sistema de alerta a inundación etc.
	El % de obras hidráulicas con capacidad para soportar eventos extremos	Se entiende por obras hidráulicas, las estructuras destinadas a evacuar grandes caudales ante la ocurrencia de inundaciones, ya sea para reducir los daños o minimizar los mismos.

	Frecuencia de mantenimiento de obras hidráulicas	Con qué frecuencia de tiempo se brindan las condiciones para la conservación de las estructuras para evitar su degradación o aumenta su vida útil.
	% de puentes en buen estado	¿Porcentaje de puentes, de los existentes, se encuentran en buen estado?
Cultural	El % de la población dispuesta a trabajar en equipo	¿Qué porcentaje de personas sienten el compromiso de trabajar en colaboración con las instituciones cuando ocurren eventos de inundación?
	El % de la comunidad que no percibe como una situación importante el riesgo a inundaciones	¿Qué porcentaje de personas no perciben la problemática de inundación como tal?

Anexo 4. Protocolo de entrevista

CONTENIDO DESCRIPCIÓN DE LA ENCUESTA

Fecha

Comunidad

Barrio

Sector

Localización

Earthstar Geographics | Esri, HERE, Garmin

Powered by [Esri](#)

Lat:°Long:°

Sexo

Masculino Femenino

Vulnerabilidad física

¿Está ubicada su vivienda en zona de inundación?

Si No

Tipo de construcción (material de la estructura)

-Seleccione-

¿Considera usted que su vivienda se encuentra en mal estado?

Sí No

¿Existe alguna infraestructura destinada y condicionada para emergencias?

Sí No

¿Cuántas infraestructuras destinadas y condicionadas para emergencia existen?

Cuantos meses del año se puede acceder a la comunidad sin problemas?

Fácil acceso todo el año Al menos un mes es de difícil acceso Acceso limitado en épocas de lluvia Acceso muy limitado todo el año Difícil acceso todo el año

Distancia de la estructura al río (m)

Vulnerabilidad social

¿Cuántas organizaciones o instituciones activas existen relacionadas a la gestión de riesgo?

¿Cuáles son las organizaciones o instituciones activas relacionadas a la gestión de riesgo?

¿Tiene su familia un plan de emergencia a inundaciones?

Sí No

¿Si esto es un comercio o lugar de trabajo, tiene un plan de emergencia ante la ocurrencia de inundaciones?

Sí No

Que tan lejos queda el servicio de salud

Hospital, clínica, policlínica

Muy cerca Cerca Lejos Muy lejos

Acceso a la comunicación

Radio Televisión Internet Teléfono Otro

Vulnerabilidad económica

¿Cuál es el rango de ingreso mensual de la familia?

Menos de 10,000 10,000-14,999 15,000-19,999 20,000-39,999 Mayor a 40,00

¿Cuántas personas componen su familia?

¿Cuántas personas en la familia están desempleadas?

¿Tiene usted acceso a servicios públicos?

Agua, luz, transporte, educación

Sí No

¿Se cumple la normativa ambiental relacionada a la reducción de riesgo a inundaciones?

Pregunta sujeta a la percepción del entrevistador (basado en los códigos existentes)

Sí No

Vulnerabilidad política

¿Qué tan relevante considera usted el problema relacionado con las inundaciones para las autoridades competentes?

Ninguna relevancia Poco relevante Medio relevante Muy relevante Bastante relevante

Cuantos proyectos se ejecutan por año relacionado a la problemática de inundaciones

¿Tienen ustedes como comunidad un líder que los representa?

Sí No

Vulnerabilidad ideológica

¿Cree usted que las inundaciones suceden porque Dios así lo tiene destinado?

Sí No

Vulnerabilidad educativa

¿Recibe usted capacitación acerca de la gestión de riesgo a inundaciones?

Sí No

¿Cuántos eventos anuales se realizan para la capacitación en temas sobre inundaciones?

¿Cuál es el grado de escolaridad?

Ninguno Básico (1ero-8vo) Medio (1eroB-4toB) Universitario Otro

Vulnerabilidad técnica

¿Cuenta esta estructura con técnicas adecuadas para la construcción?

Sujeto al código de construcción del MOPC

Sí No

¿Existen equipos disponibles para la prevención y mitigación del riesgo?

Sí No

Vulnerabilidad cultural

¿Está dispuesto a trabajar en equipo para la prevención y mitigación del riesgo a inundaciones?

Sí No Tal vez

¿Percibe como importante el riesgo a inundaciones?

Sí No Tal vez

¿Qué tiempo tiene viviendo en el lugar?

Foto

Pulse aquí para seleccionar un archivo imagen. (<10MB)

Nota

Algún dato relevante que diga el entrevistado

1000

Enviar

Anexo 5. Calificación para cada indicador utilizado, según el tipo de vulnerabilidad**Vulnerabilidad física**

Cuadro 8. Valoración del indicador número total de edificaciones en la zona de inundación

No. de edificaciones	Vulnerabilidad	Calificación
0 - 2	Muy Baja	0
3 - 4	Baja	1
5 - 6	Media	2
7 - 8	Alta	3
Mayor a 8	Muy Alta	4

Cuadro 9. Valoración del indicador porcentaje de estructuras por tipo de construcción

No. de estructuras por tipo de construcción	Vulnerabilidad	Calificación
Mayor a 80% hormigón y acero	Muy Baja	0
Entre 79% - 60% hormigón	Baja	1
Entre 59% - 40% acero	Media	2
Entre 39% - 20% maderas	Alta	3
Menor a 20% de maderas y zinc	Muy Alta	4

Cuadro 10. Valoración del indicador número de puentes con capacidad hidráulica para avenidas máximas

No. de puentes con capacidad hidráulica para avenidas máximas	Vulnerabilidad	Calificación
Todos los puentes con capacidad hidráulica	Muy Baja	0
Un puente con capacidad hidráulica ilimitada	Baja	1
Un puente con capacidad hidráulica muy limitada	Media	2
Dos puentes con capacidad hidráulica muy limitada	Alta	3
Dos o más puentes con capacidad hidráulica limitada o más de dos con capacidad limitada	Muy Alta	4

Cuadro 11. Valoración del indicador número de viviendas en mal estado

No. de viviendas en mal estado	Vulnerabilidad	Calificación
0	Muy Baja	0

1	Baja	1
2	Media	2
3	Alta	3
Más de 3	Muy Alta	4

Cuadro 12. Valoración del indicador número de infraestructuras existentes para emergencias

No. de infraestructuras existentes	Vulnerabilidad	Calificación
Mayor a 8	Muy Baja	0
8 - 7	Baja	1
6 - 5	Media	2
4 - 3	Alta	3
2 - 0	Muy Alta	4

Cuadro 13. Valoración del indicador número de viviendas ubicadas entre 0 y 160 m de distancia de un río o quebrada

No. de viviendas ubicadas entre 0 y 160 m de un río o quebrada más cercana	Vulnerabilidad	Calificación
0 - 2	Muy Baja	0
3 - 4	Baja	1
5 - 6	Media	2
7 - 8	Alta	3
Mayor a 8	Muy Alta	4

Cuadro 14. Valoración del indicador número de meses con accesibilidad durante el año

No. de meses con accesibilidad durante el año	Vulnerabilidad	Calificación
Fácil acceso todo el año	Muy Baja	0
Un mes con acceso Limitado	Baja	1
Acceso limitado en época de lluvia	Media	2
Acceso muy limitado todo el año	Alta	3
Difícil todo el año	Muy Alta	4

Vulnerabilidad social

Cuadro 15. Valoración de indicador número de organizaciones e instituciones activas relacionadas con la gestión del riesgo existente en la zona de estudio

No. de organizaciones e instituciones activas relacionadas con la gestión del riesgo existente en la zona de estudio	Vulnerabilidad	Calificación
4 o más	Muy Baja	0
3	Baja	1
2	Media	2
1	Alta	3

0	Muy Alta	4
---	----------	---

Cuadro 16. Valoración del indicador porcentaje de las familias que viven en zonas de inundaciones que tienen un plan de emergencia

% de las familias que viven en zonas de inundaciones que tienen un plan de emergencia	Vulnerabilidad	Calificación
100 - 90	Muy Baja	0
80-89	Baja	1
70 - 79	Media	2
60 - 69	Alta	3
Menor de 60	Muy Alta	4

Cuadro 17. Valoración del indicador ubicación de servicios de salud

Ubicación de servicios de salud	Vulnerabilidad	Calificación
Muy cerca	Muy Baja	0
Cerca	Baja	1
Lejos	Media	2
Muy lejos	Alta	3
No existe	Muy Alta	4

Cuadro 18. Valoración del indicador porcentaje de la población con acceso a comunicación

Porcentaje de la población con acceso a comunicación (radio, televisión, internet, teléfono)	Vulnerabilidad	Calificación
Cuatro medios de comunicación comunes	Muy Baja	0
al menos tres medios de comunicación comunes	Baja	1
al menos dos medios de comunicación comunes	Media	2
al menos un medio de comunicación común	Alta	3
Ningún medio de comunicación común	Muy Alta	4

Vulnerabilidad ecológica

Cuadro 19. Valoración del indicador porcentaje de degradación de la superficie por uno o más de los siguientes factores: deforestación, sobrepastoreo, uso intensivo, erosión, etc.

% de degradación de la superficie por deforestación, sobrepastoreo, uso intensivo, erosión, etc.	Vulnerabilidad	Calificación
0 – 5,99	Muy Baja	0
6 - 11,99	Baja	1
12 – 17,99	Media	2
18 - 23,99	Alta	3
Mayor a 24	Muy Alta	4

Cuadro 20. Valoración del indicador porcentaje longitudinal de franja ribereña de al menos 5 m de ancho, a ambos lados del cauce del río eliminada

% longitudinal de franja ribereña de al menos 5 m de ancho, a ambos lados del cauce del río eliminada	Vulnerabilidad	Calificación
Menor a 5	Muy Baja	0
5 - 9,9	Baja	1
10 - 14,9	Media	2
15 - 19,9	Alta	3
Mayor 20	Muy Alta	4

Vulnerabilidad económica

Cuadro 21. Valoración del indicador ingreso mensual de las familias que viven en zonas de riesgo a inundaciones

Ingreso mensual de las familias que viven en zonas de riesgo a inundaciones (pesos dominicanos)	Vulnerabilidad	Calificación
> 40.000	Muy Baja	0
20.000 – 39.999	Baja	1
15.000 - 19,999	Media	2
10.000 – 14.999	Alta	3
< 10.000	Muy Alta	4

Cuadro 22. Valoración del indicador porcentaje de habitantes desempleados

Porcentaje de habitantes desempleados	Vulnerabilidad	Calificación
0 - 4%	Muy Baja	0
5 - 9%	Baja	1
10 - 14%	Media	2
15 - 20%	Alta	3
> 20%	Muy Alta	4

Cuadro 23. Valoración del indicador porcentaje de habitantes que no tiene acceso a servicios públicos

Porcentaje de habitantes que no tiene acceso a servicios públicos	Vulnerabilidad	Calificación
0 - 20	Muy Baja	0
20 - 40	Baja	1
40 - 60	Media	2
60 - 80	Alta	3
80 - 100	Muy Alta	4

Vulnerabilidad política

Cuadro 24. Valoración del indicador grado de cumplimiento de normativa ambiental que reduce riesgo a inundaciones

Grado de cumplimiento de normativa ambiental que reduce riesgo a inundaciones	Vulnerabilidad	Calificación
100 - 95	Muy Baja	0
94,9 - 90	Baja	1
89,9 - 85	Media	2
84,9 - 80	Alta	3
79,9 - 75	Muy Alta	4

Cuadro 25. Valoración del indicador grado (%) de relevancia para los tomadores de decisiones del problema de inundaciones

Grado (%) de relevancia para los tomadores de decisiones del problema	Vulnerabilidad	Calificación
Muy relevante	Muy Baja	0
Bastante relevante	Baja	1
Medianamente relevante	Media	2
Poco relevante	Alta	3
Muy poca o nada relevante	Muy Alta	4

Cuadro 26. Valoración del indicador número de proyectos de desarrollo ejecutados por año

Número de proyectos ejecutados por año	Vulnerabilidad	Calificación
4 o más	Muy Baja	0
3	Baja	1
2	Media	2
1	Alta	3
0	Muy Alta	4

Cuadro 27. Valoración del indicador porcentaje de líderes que tiene la comunidad para representarlos

Porcentaje de líderes que tiene la comunidad para representarlos	Vulnerabilidad	Calificación
> 5%	Muy Baja	0
3 - 4%	Baja	1
2 - 3%	Media	2
1 - 2%	Alta	3
0 - 1%	Muy Alta	4

Vulnerabilidad ideológica

Cuadro 28. Valoración del indicador porcentaje de la población que considera que las inundaciones ocurren porque Dios así lo tiene destinado o porque simplemente tienen que ocurrir

Porcentaje de la población que considera que las inundaciones ocurren porque Dios así lo tiene destinado o porque simplemente tienen que ocurrir	Vulnerabilidad	Calificación
0 - 9,9	Muy Baja	0
10 - 19,9	Baja	1
20 - 29,9	Media	2
30 - 39,9	Alta	3
40 o más	Muy Alta	4

Vulnerabilidad educativa

Cuadro 29. Valoración del indicador porcentaje de la población que vive en la zona de riesgo a inundaciones que ha recibido capacitación en ese tema

% de la población que vive en la zona de riesgo a inundaciones que ha recibido capacitación en ese tema	Vulnerabilidad	Calificación
100 - 80	Muy Baja	0
79,9 - 60	Baja	1
59,9 - 40	Media	2
39,9 - 20	Alta	3
19,9 - 0	Muy Alta	4

Cuadro 30. Valoración del indicador No. de eventos anuales de capacitación sobre inundaciones

No. de eventos anuales de capacitación sobre inundaciones	Vulnerabilidad	Calificación
4 o más	Muy Baja	0
3	Baja	1
2	Media	2
1	Alta	3
0	Muy Alta	4

Cuadro 31. Valoración del indicador nivel de alfabetismo

Nivel de alfabetismo	Vulnerabilidad	Calificación
Posgrado	Muy Baja	0
Universitario	Baja	1
Medio (secundaria)	Media	2
Básico (primaria)	Alta	3
Ninguno	Muy Alta	4

Anexo 6. Número de Manning

Edit Manning's n or k Values

River: RIO OZAMA Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: Tramo principal All Regions

Selected Area Edit Options:

	River Station	Frcn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1	5230.198	n	0.05	0.04	0.04
2	5039.223	n	0.05	0.04	0.04
3	4883.981	n	0.05	0.04	0.1
4	4717.676	n	0.05	0.04	0.1
5	4498.218	n	0.05	0.04	0.1
6	4266.236	n	0.1	0.04	0.1
7	4250.00	Bridge			
8	4202.101	n	0.1	0.04	0.1
9	4050	n	0.1	0.04	0.04
10	3750	n	0.1	0.04	0.1
11	3450	n	0.05	0.04	0.04
12	3062.291	n	0.05	0.04	0.04
13	2790.308	n	0.05	0.04	0.1
14	2550	n	0.1	0.04	0.1
15	2250	n	0.1	0.04	0.1
16	1950	n	0.1	0.04	0.04
17	1638.477	n	0.1	0.04	0.04
18	1493.679	n	0.1	0.04	0.04
19	1450	Bridge			
20	1419.991	n	0.1	0.04	0.04
21	1200	n	0.1	0.04	0.1
22	900	n	0.1	0.04	0.1
23	667.4492	n	0.1	0.04	0.1
24	449.9999	n	0.1	0.04	0.1
25	213.2036	n	0.1	0.04	0.1

Anexo 7. Ingreso de caudales y pendiente del tramo

Steady Flow Data - Q nuevos

File Options Help

Description : ...

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):

Locations of Flow Data Changes

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates			
River	Reach	RS	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años	Tr 200 años
1 RIO OZAMA	Tramo principal	5230.198	1077.64	1285.71	1493.78	1701.86

Steady Flow Boundary Conditions

Set boundary for all profiles Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

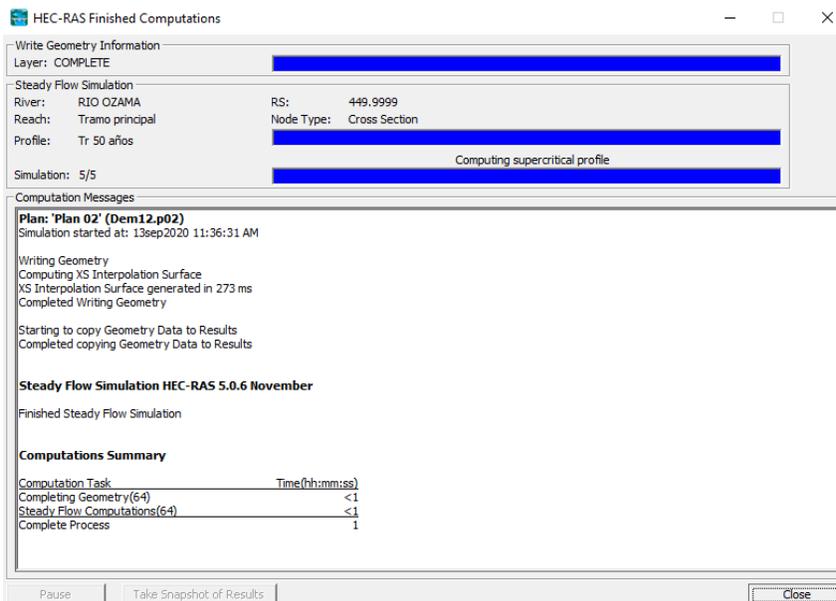
Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
RIO OZAMA	Tramo principal	all	Normal Depth S = 0.000568	Normal Depth S = 0.000568

Steady Flow Reach-Storage Area Optimization ...

Enter to accept data changes.

Anexo 8. Resultados de la corrida del modelo



Anexo 9. Tablas resumen según los diferentes periodos de retornos

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: RIO OZAMA Reach: Tramo principal Profile: Tr 25 años												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
Tramo principal	5230.198	Tr 25 años	1077.64	-32.66	-24.16	-30.13	-24.14	0.000051	0.61	1804.66	325.99	0.08
Tramo principal	5039.223	Tr 25 años	1077.64	-30.81	-24.17		-24.15	0.000065	0.58	1887.60	424.16	0.08
Tramo principal	4883.981	Tr 25 años	1077.64	-29.40	-24.19		-24.17	0.000125	0.69	1606.07	457.05	0.11
Tramo principal	4717.676	Tr 25 años	1077.64	-30.44	-24.20		-24.18	0.000048	0.53	2067.94	419.75	0.07
Tramo principal	4498.218	Tr 25 años	1077.64	-30.76	-24.22		-24.20	0.000080	0.65	1692.46	376.94	0.09
Tramo principal	4266.236	Tr 25 años	1077.64	-35.21	-24.22	-32.95	-24.21	0.000017	0.41	2683.77	378.25	0.05
Tramo principal	4250.00	Bridge										
Tramo principal	4202.101	Tr 25 años	1077.64	-33.94	-24.22		-24.21	0.000028	0.48	2293.59	376.21	0.06
Tramo principal	4050	Tr 25 años	1077.64	-28.61	-24.26		-24.22	0.000197	0.86	1302.37	383.86	0.14
Tramo principal	3750	Tr 25 años	1077.64	-29.82	-24.30		-24.27	0.000135	0.77	1442.23	374.88	0.12
Tramo principal	3450	Tr 25 años	1077.64	-27.55	-24.54	-25.25	-24.39	0.002079	1.88	653.37	413.51	0.41
Tramo principal	3062.291	Tr 25 años	1077.64	-27.85	-26.20	-26.20	-25.74	0.013141	3.40	381.35	418.46	0.96
Tramo principal	2790.308	Tr 25 años	1077.64	-33.62	-26.30	-30.88	-26.27	0.000121	0.83	1808.62	603.79	0.12
Tramo principal	2550	Tr 25 años	1077.64	-30.21	-26.41		-26.33	0.000680	1.32	1205.71	570.71	0.25
Tramo principal	2250	Tr 25 años	1077.64	-30.04	-26.63		-26.55	0.000799	1.39	1135.48	462.38	0.27
Tramo principal	1950	Tr 25 años	1077.64	-32.94	-26.74		-26.68	0.000242	1.08	1041.86	256.62	0.16
Tramo principal	1638.477	Tr 25 años	1077.64	-33.96	-26.82		-26.76	0.000216	1.12	1038.93	232.35	0.15
Tramo principal	1493.679	Tr 25 años	1077.64	-32.30	-27.06	-29.12	-26.84	0.001346	2.10	516.54	156.00	0.36
Tramo principal	1450	Bridge										
Tramo principal	1419.991	Tr 25 años	1077.64	-32.51	-27.22		-26.95	0.001574	2.31	472.72	143.16	0.39
Tramo principal	1200	Tr 25 años	1077.64	-33.18	-27.46		-27.25	0.001045	2.06	573.59	157.69	0.33
Tramo principal	900	Tr 25 años	1077.64	-32.37	-29.15	-29.15	-28.08	0.011974	4.57	240.11	119.13	0.99
Tramo principal	667.4492	Tr 25 años	1077.64	-35.75	-29.40	-33.13	-29.35	0.000203	1.01	1129.81	287.72	0.15
Tramo principal	449.9999	Tr 25 años	1077.64	-35.94	-29.40		-29.38	0.000065	0.58	1979.76	493.62	0.08
Tramo principal	213.2036	Tr 25 años	1077.64	-34.79	-29.54	-32.07	-29.43	0.000569	1.49	778.36	246.30	0.24

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: RIO OZAMA Reach: Tramo principal Profile: Tr 50 años												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tramo principal	5230.198	Tr 50 años	1285.71	-32.66	-23.93	-29.90	-23.90	0.000064	0.70	1881.96	330.60	0.09
Tramo principal	5039.223	Tr 50 años	1285.71	-30.81	-23.94		-23.92	0.000079	0.66	1987.31	429.64	0.09
Tramo principal	4883.981	Tr 50 años	1285.71	-29.40	-23.96		-23.93	0.000147	0.78	1711.60	462.86	0.12
Tramo principal	4717.676	Tr 50 años	1285.71	-30.44	-23.97		-23.95	0.000059	0.61	2164.22	424.14	0.08
Tramo principal	4498.218	Tr 50 años	1285.71	-30.76	-24.00		-23.97	0.000098	0.75	1776.93	381.24	0.10
Tramo principal	4266.236	Tr 50 años	1285.71	-35.21	-23.99	-32.73	-23.98	0.000022	0.48	2768.74	382.80	0.05
Tramo principal	4250.00		Bridge									
Tramo principal	4202.101	Tr 50 años	1285.71	-33.94	-24.00		-23.99	0.000036	0.55	2377.48	381.11	0.07
Tramo principal	4050	Tr 50 años	1285.71	-28.61	-24.05		-24.00	0.000233	0.96	1384.54	388.61	0.15
Tramo principal	3750	Tr 50 años	1285.71	-29.82	-24.10		-24.06	0.000164	0.88	1519.18	380.22	0.13
Tramo principal	3450	Tr 50 años	1285.71	-27.55	-24.37	-25.11	-24.19	0.002181	2.01	724.85	420.05	0.43
Tramo principal	3062.291	Tr 50 años	1285.71	-27.85	-26.08	-26.08	-25.58	0.013226	3.58	434.09	444.07	0.97
Tramo principal	2790.308	Tr 50 años	1285.71	-33.62	-25.89	-30.64	-25.86	0.000128	0.90	2058.11	612.63	0.12
Tramo principal	2550	Tr 50 años	1285.71	-30.21	-25.99		-25.92	0.000583	1.33	1445.22	579.98	0.23
Tramo principal	2250	Tr 50 años	1285.71	-30.04	-26.18		-26.11	0.000687	1.40	1344.35	473.25	0.25
Tramo principal	1950	Tr 50 años	1285.71	-32.94	-26.30		-26.23	0.000253	1.16	1158.04	266.50	0.17
Tramo principal	1638.477	Tr 50 años	1285.71	-33.96	-26.38		-26.31	0.000234	1.23	1142.09	241.47	0.16
Tramo principal	1493.679	Tr 50 años	1285.71	-32.30	-26.64	-28.83	-26.39	0.001341	2.23	582.92	164.01	0.36
Tramo principal	1450		Bridge									
Tramo principal	1419.991	Tr 50 años	1285.71	-32.51	-26.81		-26.51	0.001596	2.46	532.22	150.02	0.40
Tramo principal	1200	Tr 50 años	1285.71	-33.18	-27.07		-26.82	0.001111	2.24	636.91	164.11	0.34
Tramo principal	900	Tr 50 años	1285.71	-32.37	-28.86	-28.86	-27.69	0.011626	4.79	275.55	125.89	0.99
Tramo principal	667.4492	Tr 50 años	1285.71	-35.75	-28.96	-32.91	-28.90	0.000214	1.10	1259.10	300.42	0.15
Tramo principal	449.9999	Tr 50 años	1285.71	-35.94	-28.96		-28.94	0.000069	0.64	2202.43	512.47	0.09
Tramo principal	213.2036	Tr 50 años	1285.71	-34.79	-29.11	-31.83	-28.98	0.000568	1.60	886.51	259.69	0.24

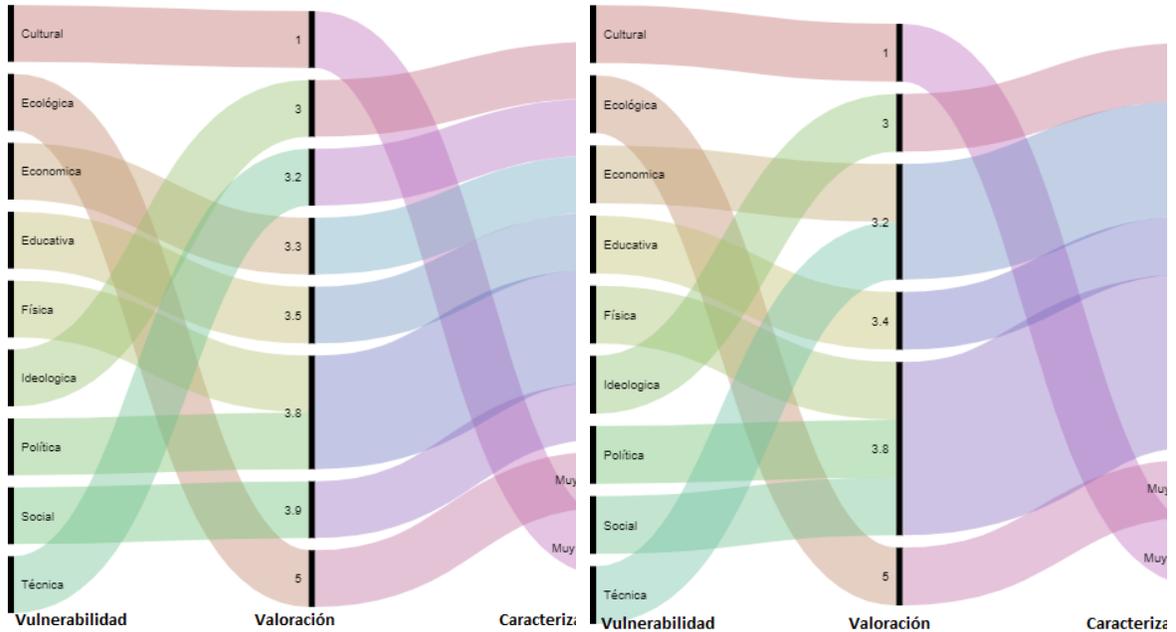
HEC-RAS Plan: Plan 03 River: RIO OZAMA Reach: Tramo principal Profile: Tr 100 años												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tramo principal	5230.198	Tr 100 años	1493.78	-32.66	-23.81	-29.69	-23.78	0.000082	0.80	1921.33	332.92	0.10
Tramo principal	5039.223	Tr 100 años	1493.78	-30.81	-23.82		-23.79	0.000098	0.75	2037.24	432.36	0.10
Tramo principal	4883.981	Tr 100 años	1493.78	-29.40	-23.85		-23.82	0.000181	0.88	1762.49	465.64	0.14
Tramo principal	4717.676	Tr 100 años	1493.78	-30.44	-23.86		-23.84	0.000075	0.70	2210.07	426.21	0.09
Tramo principal	4498.218	Tr 100 años	1493.78	-30.76	-23.90		-23.86	0.000124	0.85	1815.33	383.18	0.12
Tramo principal	4266.236	Tr 100 años	1493.78	-35.21	-23.89	-32.53	-23.88	0.000028	0.55	2807.56	384.80	0.06
Tramo principal	4250.00		Bridge									
Tramo principal	4202.101	Tr 100 años	1493.78	-33.94	-23.90		-23.88	0.000046	0.63	2415.28	383.28	0.08
Tramo principal	4050	Tr 100 años	1493.78	-28.61	-23.96		-23.90	0.000292	1.10	1418.13	390.53	0.17
Tramo principal	3750	Tr 100 años	1493.78	-29.82	-24.03		-23.98	0.000210	1.00	1546.57	381.98	0.15
Tramo principal	3450	Tr 100 años	1493.78	-27.55	-24.40	-24.99	-24.15	0.003093	2.38	712.80	418.96	0.51
Tramo principal	3062.291	Tr 100 años	1493.78	-27.85	-25.58		-25.32	0.005096	2.62	679.53	518.68	0.63
Tramo principal	2790.308	Tr 100 años	1493.78	-33.62	-25.52		-25.48	0.000134	0.96	2290.35	620.37	0.12
Tramo principal	2550	Tr 100 años	1493.78	-30.21	-25.61		-25.53	0.000523	1.36	1667.52	588.48	0.23
Tramo principal	2250	Tr 100 años	1493.78	-30.04	-25.79		-25.71	0.000625	1.43	1534.58	482.87	0.25
Tramo principal	1950	Tr 100 años	1493.78	-32.94	-25.90		-25.83	0.000261	1.24	1265.08	275.12	0.17
Tramo principal	1638.477	Tr 100 años	1493.78	-33.96	-26.00		-25.91	0.000252	1.33	1237.07	249.58	0.17
Tramo principal	1493.679	Tr 100 años	1493.78	-32.30	-26.28	-28.56	-26.00	0.001325	2.35	644.24	171.13	0.37
Tramo principal	1450		Bridge									
Tramo principal	1419.991	Tr 100 años	1493.78	-32.51	-26.45		-26.11	0.001633	2.60	586.97	156.07	0.41
Tramo principal	1200	Tr 100 años	1493.78	-33.18	-26.72		-26.44	0.001159	2.40	694.69	169.76	0.35
Tramo principal	900	Tr 100 años	1493.78	-32.37	-28.58	-28.58	-27.33	0.011183	4.97	311.26	131.75	0.99
Tramo principal	667.4492	Tr 100 años	1493.78	-35.75	-28.55	-32.70	-28.48	0.000224	1.19	1383.69	311.88	0.16
Tramo principal	449.9999	Tr 100 años	1493.78	-35.94	-28.55		-28.52	0.000072	0.68	2416.00	529.23	0.09
Tramo principal	213.2036	Tr 100 años	1493.78	-34.79	-28.72	-31.62	-28.57	0.000568	1.69	991.75	271.77	0.25

HEC-RAS Plan: Plan 03 River: RIO OZAMA Reach: Tramo principal Profile: Tr 200 años												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tramo principal	5230.198	Tr 200 años	1701.86	-32.66	-23.63	-29.50	-23.59	0.000097	0.89	1980.33	336.37	0.11
Tramo principal	5039.223	Tr 200 años	1701.86	-30.81	-23.65		-23.61	0.000114	0.83	2112.93	436.45	0.11
Tramo principal	4883.981	Tr 200 años	1701.86	-29.40	-23.68		-23.64	0.000206	0.96	1841.77	469.83	0.15
Tramo principal	4717.676	Tr 200 años	1701.86	-30.44	-23.69		-23.66	0.000088	0.77	2281.95	429.44	0.10
Tramo principal	4498.218	Tr 200 años	1701.86	-30.76	-23.73		-23.69	0.000146	0.94	1877.50	386.30	0.13
Tramo principal	4266.236	Tr 200 años	1701.86	-35.21	-23.73	-32.34	-23.71	0.000034	0.61	2870.21	388.00	0.07
Tramo principal	4250.00		Bridge									
Tramo principal	4202.101	Tr 200 años	1701.86	-33.94	-23.74		-23.72	0.000056	0.71	2476.89	386.79	0.08
Tramo principal	4050	Tr 200 años	1701.86	-28.61	-23.81		-23.74	0.000335	1.20	1476.70	393.86	0.19
Tramo principal	3750	Tr 200 años	1701.86	-29.82	-23.89		-23.83	0.000246	1.11	1599.58	385.37	0.16
Tramo principal	3450	Tr 200 años	1701.86	-27.55	-24.32	-24.87	-24.03	0.003537	2.59	744.02	421.79	0.55
Tramo principal	3062.291	Tr 200 años	1701.86	-27.85	-25.18		-24.98	0.002856	2.18	892.53	535.28	0.48
Tramo principal	2790.308	Tr 200 años	1701.86	-33.62	-25.16		-25.11	0.000138	1.02	2513.71	627.72	0.13
Tramo principal	2550	Tr 200 años	1701.86	-30.21	-25.25		-25.17	0.000479	1.38	1881.42	596.31	0.22
Tramo principal	2250	Tr 200 años	1701.86	-30.04	-25.41		-25.33	0.000580	1.46	1716.59	491.56	0.24
Tramo principal	1950	Tr 200 años	1701.86	-32.94	-25.53		-25.45	0.000268	1.31	1368.54	283.19	0.17
Tramo principal	1638.477	Tr 200 años	1701.86	-33.96	-25.63		-25.53	0.000268	1.42	1328.99	257.20	0.18
Tramo principal	1493.679	Tr 200 años	1701.86	-32.30	-25.93	-28.31	-25.63	0.001312	2.47	704.21	177.89	0.37
Tramo principal	1450		Bridge									
Tramo principal	1419.991	Tr 200 años	1701.86	-32.51	-26.12		-25.74	0.001657	2.73	640.67	161.75	0.42
Tramo principal	1200	Tr 200 años	1701.86	-33.18	-26.39		-26.07	0.001198	2.55	751.13	175.05	0.36
Tramo principal	900	Tr 200 años	1701.86	-32.37	-28.35	-28.35	-26.99	0.010937	5.20	341.51	136.56	0.99
Tramo principal	667.4492	Tr 200 años	1701.86	-35.75	-28.17	-32.51	-28.10	0.000232	1.26	1504.32	322.40	0.16
Tramo principal	449.9999	Tr 200 años	1701.86	-35.94	-28.16		-28.14	0.000075	0.73	2622.09	545.84	0.09
Tramo principal	213.2036	Tr 200 años	1701.86	-34.79	-28.34	-31.42	-28.19	0.000568	1.78	1094.44	283.00	0.25

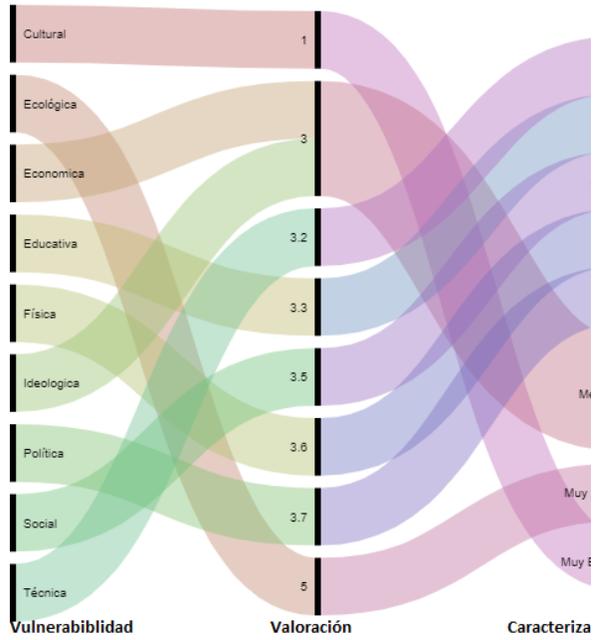
Anexo 10. Gráficos aluviales, según las comunidades evaluadas

Gualey

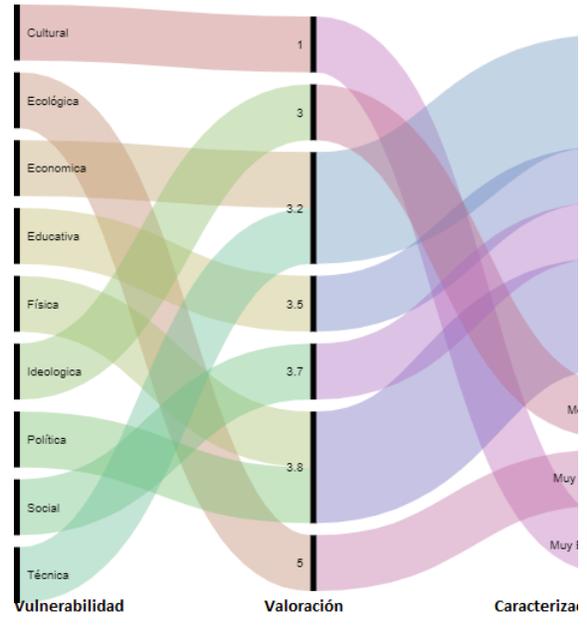
Los Tres Brazos



Los Minas



Domingo Savio



Ensanche Ozama

