



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ  
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO  
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES EN ÁREAS  
PRODUCTIVAS DE MAÍZ MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN HACIENDA BORINQUEN**

**AUTOR**

**PANCHANA VILLÓN KEVIN MANUEL**

**TUTOR**

**ING. MARURI MORÁN AMADO DIEGO, MSc.**

**GUAYAQUIL - ECUADOR  
2024**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ  
CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TUTOR**

Yo, **MARURI MORÁN AMADO DIEGO** docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES EN ÁREAS PRODUCTIVAS DE MAÍZ MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN HACIENDA BORINQUEN**, realizado por el estudiante **PANCHANA VILLÓN KEVIN MANUEL**; con cédula de identidad N° **0941509200** de la carrera **AGRONOMÍA**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

-----  
Ing. Diego Maruri Morán, MSc.  
**Firma del tutor**

Guayaquil, 26 de agosto del 2024



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES EN ÁREAS PRODUCTIVAS DE MAÍZ MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN HACIENDA BORINQUEN", realizado por el estudiante PANCHANA VILLÓN KEVIN MANUEL, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

---

Ing. Fanny Rodríguez Jarama, M.Sc.  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Freddy Veliz Piguave, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Pedro Vélez Duque, M.Sc.  
**EXAMINADOR PRINCIPAL**

---

Ing. Diego Maruri Morán, M.Sc.  
**EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 16 de octubre del 2024

## DEDICATORIA

“Esta dedicatoria va dirigida a toda mi familia y, en especial:

A mis queridos padres, Manuel y Rosa, quienes, con su amor incondicional y sacrificio constante, han sido el pilar fundamental sobre este sueño construido.

A mis abuelos, por estar siempre presentes con sus palabras de aliento y sabios consejos, especialmente cada vez que me despedía para ir a la ciudad.

A mis tíos (as), quienes han mantenido una confianza en mi capacidad para convertirme en un profesional.

A mis hermanos que me inspiran a seguir adelante.

Espero que mi trayectoria académica sirva de ejemplo y los motive a alcanzar sus propias metas educativas.

A todos ustedes, mi más profundo cariño y admiración. Este logro no es solo mío, sino también el reflejo de apoyo y dedicación constante”.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por permitirme llegar a este momento especial y por su guía constante en este proceso.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a mis padres, Manuel y Rosa, y a mi familia, que han sido una base fundamental en este logro.

Agradezco de manera especial a mi tutor, Ing. Diego Maruri, por su orientación experta y apoyo continuo.

A mis docentes, les agradezco por su dedicación y esfuerzo en mi formación académica.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos, cuyo aliento y compañía han sido esenciales durante esta etapa educativa, haciendo de este viaje una experiencia inolvidable, única y enriquecedora

Agradezco a la Universidad por brindarme un espacio de crecimiento y aprendizaje constante.

“Mi más sincero agradecimiento a quienes han sido parte de este viaje”

### **Autorización de Autoría Intelectual**

Yo PANCHANA VILLÓN KEVIN MANUEL, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES EN ÁREAS PRODUCTIVAS DE MAÍZ MEDIANTE EL USO DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN HACIENDA BORINQUEN” para optar el título de INGENIERO AGRÓNOMO, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, octubre 23, 2024

-----

Panchana Villón Kevin Manuel

**C.I. 094150920-0**

## RESUMEN

La investigación aborda la problemática de las inundaciones, uno de los mayores retos para la agricultura en la zona costera de Ecuador, donde se cultiva gran parte significativa del maíz, un cultivo de gran importancia que se ve afectado por estos eventos. El objetivo principal de este estudio es identificar zonas susceptibles a inundaciones en áreas dedicadas al cultivo de maíz, utilizando Sistema de Información Geográficas (SIG). La metodología utilizada incluyó la recopilación y análisis de datos topográficos, integrados en un modelo espacial para evaluar la susceptibilidad a inundaciones. Se utilizó un Modelo Digital de Elevación (DEM) en combinación con capas de información de los ríos, lo que permitió la creación de mapas temáticos detallados que identifican las áreas con diferentes niveles de riesgo de inundación. Los resultados indican que las zonas de alta y media susceptibilidad a inundaciones pueden llegar a afectar gran parte de producción del cultivo. Estas zonas propensas a inundaciones se localizan en áreas bajas, cercanas a fuentes de agua como ríos, donde la acumulación de escorrentía superficial es mayor. Las conclusiones destacan la importancia de realizar una planificación agrícola considerando los riesgos de inundación para proteger de las áreas de cultivo. Se recomienda la integración de los mapas de susceptibilidad a inundaciones en los planes de desarrollo agrícola para contribuir a la toma de decisiones informadas. Este trabajo destaca el valor del uso de tecnologías SIG en la gestión de riesgos, proporcionando una herramienta eficaz para la identificación y mitigación.

**Palabras clave:** *Inundación, SIG, Susceptibilidad, Vulnerabilidad*

## ABSTRACT

The research addresses the problem of flooding, one of the greatest challenges for agriculture in Ecuador's coastal zone, where a significant portion of corn is grown, a crop of great importance that is affected by these events. The main objective of this study is to identify areas susceptible to flooding in areas dedicated to corn cultivation, using Geographic Information Systems (GIS). The methodology used included the collection and analysis of topographic data, integrated into a spatial model to assess flood susceptibility. A Digital Elevation Model (DEM) was used in combination with river information layers, allowing the creation of detailed thematic maps that identify areas with different levels of flood risk. The results indicate that areas of high and medium susceptibility to flooding can affect a large part of crop's production. These flood-prone areas are located in low-lying areas, close to water sources such as rivers, where the accumulation of surface runoff is greater. The conclusions highlight the importance of agricultural planning considering flood risks to protect crop areas. The integration of flood susceptibility maps into agricultural development plans is recommended to contribute to informed decision making. This paper highlights the value of the using GIS technologies in risk management, providing an effective tool for the identification and mitigation.

**Keywords:** *flood, GIS, susceptibility, vulnerability*



## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR .....	II
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN .....	III
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
Autorización de Autoría Intelectual .....	vi
RESUMEN .....	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1 Antecedentes del problema.....	14
1.2 Planteamiento y formulación del problema .....	14
<i>1.2.1 Planteamiento del problema.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.2 Formulación del problema.....</i>	<i>15</i>
1.3 Justificación de la investigación .....	16
1.4 Delimitación de la investigación .....	17
1.5 Objetivo general .....	17
1.6 Objetivos específicos.....	17
1.7 Hipótesis .....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 Estado del arte.....	18
2.2 Bases teóricas .....	20
<i>2.2.1 Cultivo de maíz .....</i>	<i>20</i>
2.2.1.1. Origen del maíz.....	20
2.2.1.2. Taxonomía.....	21
2.2.1.3. Morfología .....	21
2.2.1.3.1. Raíz. ....	21
2.2.1.3.2. Tallo. ....	21
2.2.1.3.3. Hojas.....	22
2.2.1.3.4. Inflorescencia.....	22
2.2.1.3.5. Mazorca. ....	22

2.2.1.4. Requerimientos climáticos y edáficos .....	22
2.2.1.4.1. <i>Precipitación</i> .....	22
2.2.1.4.2. <i>Temperatura</i> .....	23
2.2.1.4.3. <i>Altitud</i> .....	23
2.2.2 <i>ARCGIS</i> .....	23
2.2.3 <i>Componente de un SIG</i> .....	23
2.2.4 <i>Agricultura de precisión</i> .....	23
2.2.5 <i>Inundación</i> .....	24
2.2.6 <i>Inundaciones en la agricultura</i> .....	24
2.2.7 <i>Monitoreo de zonas inundables con tecnologías geoespaciales</i> .....	24
2.2.8 <i>Modelo digital de elevaciones (MDE o DEM)</i> .....	25
2.3 Marco legal.....	25
2.3.1 <i>Constitución de la República del Ecuador</i> .....	25
2.3.2 <i>Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua</i> .....	26
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1 Enfoque de la investigación .....	27
3.1.1 <i>Tipo de investigación</i> .....	27
3.1.2 <i>Diseño de investigación</i> .....	27
3.2 Metodología .....	27
3.2.1 <i>Variables</i> .....	27
3.2.1.1. <i>Variable independiente</i> .....	27
3.2.1.1.1. <i>Datos topográficos</i> .....	27
3.2.1.2. <i>Variable dependiente</i> .....	28
3.2.1.2.1. <i>Áreas inundables</i> .....	28
3.2.1.2.2. <i>Mapeo de áreas inundables</i> .....	28
3.2.2 <i>Tratamientos</i> .....	28
3.2.3 <i>Diseño experimental</i> .....	28
3.2.4 <i>Recolección de datos</i> .....	28
3.2.4.1. <i>Recursos</i> .....	28
3.2.4.2. <i>Métodos y técnicas</i> .....	29
3.2.5 <i>Análisis estadístico</i> .....	33
3.2.5.1. <i>Tablas de datos</i> .....	33
4. RESULTADOS.....	34

<b>4.1 Caracterización de las zonas de inundación y su relación con el desarrollo del cultivo de maíz. ....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Aplicación de tecnología de percepción remota para proporcionar información relacionada a inundaciones. ....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Representación a través de mapas temáticos las zonas más susceptibles a inundaciones en el cultivo de maíz. ....</b>	<b>42</b>
<b>5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>6.1 Conclusiones.....</b>	<b>49</b>
<b>6.2 Recomendaciones.....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Información del cultivo de maíz .....	34
Tabla 2. Características del maíz afectado por inundaciones .....	35
Tabla 3. Escala de pronóstico a inundaciones en febrero .....	36
Tabla 4. Clases de capacidad de uso de acuerdo a la pendiente .....	37
Tabla 5. Valores de reclasificación de pendiente .....	38
Tabla 6. Valores reclasificados de distancia euclidiana (ríos) .....	39
Tabla 7. Ponderación de valores .....	45
Tabla 8. Coordenadas del cultivo en hacienda Borinquen.....	57

**ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Histograma de la reclasificación de la pendiente (%) .....	38
Figura 2. Histograma de reclasificación de la distancia euclidiana .....	40
Figura 3. Sumatoria de ráster para conocer las zonas inundables .....	41
Figura 4. Cuerpo de agua obtenida del NDWI .....	42
Figura 5. Mapa temático de ubicación .....	43
Figura 6. Mapa temático de curvas de nivel .....	44
Figura 7. Mapa temático de zonas susceptibles a inundaciones .....	45
Figura 8. Ubicación geográfica de hacienda Borinquen .....	55
Figura 9. Mapa de amenaza de inundaciones .....	55
Figura 10. Humedad media Isidro Ayora, Ecuador .....	56
Figura 11. Precipitación del cantón Isidro Ayora, Ecuador .....	56
Figura 12. Amarillamiento en hojas del cultivo de maíz .....	57
Figura 13. Crecimiento lento causado por escorrentías superficiales .....	58
Figura 14. Cultivo en óptimas condiciones .....	58
Figura 15. Visita del tutor en la hacienda Borinquen .....	59
Figura 16. Validación en campo .....	59
Figura 17. Cosecha de cultivo sin afectación .....	60
Figura 18. Resultados obtenidos de zonas propensa a inundaciones .....	60

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes del problema

Este estudio, surge por la necesidad de comprobar si los datos obtenidos a través del sistema de información geográfica (SIG) sobre las zonas inundables son favorable o acorde con la realidad del cultivo de maíz en la zona de estudio.

En la provincia del Guayas, en el cantón Isidro Ayora, los cultivos han sufridos daños por problemas ocasionados por el encharcamiento o inundaciones que son provocadas por las fuertes precipitaciones, estos inconvenientes han ido incrementado debido a que los productores realizan la siembra en zonas bajas sin precautelar los riegos para proteger los cultivos de la pérdida de producción, debido a la falta de información adecuada y la planificación adecuada, por ende, se han obtenidos consecuencias a corto y largo plazo, como son las pérdidas económicas y pérdidas parcial o total de los cultivos.

Según los datos registrado por la Corporación Financiera Nacional (CFN, 2021) Afirma que la superficie cosechada de maíz fue de 355913 hectáreas que abarca con una producción de 1'358626 toneladas métricas, logrando ubicar a Guayas como la tercera provincia con mayor producción. Las provincias más productoras de maíz son las siguientes; Los Ríos 47%, Manabí 21%, Guayas 18%, Loja 4% y las provincias restantes están representadas con un 9%, dando un total del 100% en todo el país.

El avance de la tecnología en los sistemas de información geográfica (SIG) se ha visto acelerado, con el uso del internet como una plataforma de comunicación de manera masiva y el manejo de los datos geográficos. Esta plataforma es utilizada para trabajar con datos geográficos que son aplicados al sistema informáticos, que se utilizan para diversas investigaciones en el estudio de la tierra.

De la misma manera es utilizada para integrar datos, analizar ubicación espacial y funciona para organizar capas de información para su visualización (Radicelli et al. 2019).

### 1.2 Planteamiento y formulación del problema

#### *1.2.1 Planteamiento del problema*

En la actualidad la agricultura moderna desempeña un papel fundamental en la economía del país, sin embargo, la incorporación y el uso efectivo de la tecnología en el sector agrícola ecuatoriano se enfrentan a múltiples desafíos que

limitan su desarrollo y su capacidad para poder enfrentar los problemas actuales del país.

Las herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) brinda una solución para abordar la problemática actual y permite realizar toma de decisiones informadas. Pero debido a que las personas del sector poseen poco conocimiento de las herramientas precisas y actualizadas para identificar las zonas críticas de inundaciones en el área, obstaculiza la capacidad de las familias, agricultores, autoridades locales y pequeños productores para realizar una planificación correcta de siembra.

El cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas, se enfrenta a inundaciones de manera constante que amenazan las áreas productivas del cultivo de maíz, fuentes principales de sustento económico para la población. Estas inundaciones pueden ser causadas por factores climáticos, fuertes precipitaciones, o por problemas de drenaje que como consecuencias muy graves pueden llegar a provocar la pérdida del cultivo, daños a la infraestructura, desbordamiento y hasta la calidad de vida de los habitantes del cantón.

Las recientes inundaciones que se encuentran en varios países del mundo y los conocidos eventos de lluvias torrenciales en los últimos años, son provocadas por el cambio climático que tiene mucho que ver con este fenómeno que se manifiesta en eventos extremos, como en las variaciones climáticas, calentamiento global, y sequías por un largo tiempo que llegan a afectar a la seguridad alimentaria (Fischer, 2021).

En la agricultura es común y necesario identificar las zonas bajas que pueden ser propensa a encharcamiento y/o inundaciones, estas actividades se pueden ven restringidas debido a la reducida disponibilidad de recursos económicos, esto se debe a que estas acciones implican una demanda de gastos tanto al realizar las visitas tradicionales en todo el campo para identificar las zonas de posible encharcamiento, la elaboración de los mapas de riesgos, lo que se puede identificar a través del SIG, obtener información esencial y necesaria, de una manera rápida.

### ***1.2.2 Formulación del problema***

¿De qué manera la herramienta de sistema de información geográfica (SIG) contribuirá a la identificación de las zonas inundables en el área productiva de maíz?

### **1.3 Justificación de la investigación**

El Sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta de gran importancia que contribuye a la gestión de riesgos, planificación agrícola, protección del medio ambiente y seguridad alimentaria. Este sistema ayuda a identificar áreas susceptibles a inundación dentro del área productiva de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.

Las inundaciones son un problema global, y nuestro país Ecuador no es ajeno a esta situación según (Mena et al. 2021). Las inundaciones son resultados de complejas interrelaciones entre sistema meteorológicos, oceanográficos e hidrológicos, aumento de la evaporación por las altas temperaturas. Estas condiciones, en conjunto con el desbordamiento de los ríos, acumulación de agua de lluvias generan inundaciones recurrentes, de manera especial en las cuencas costeras bajas.

Este estudio proporciona una base sólida para la implementación del sistema de información geográfica (SIG) como una herramienta eficiente para identificar las zonas inundables del cultivo de maíz, se tiene un impacto significativo que permite a los agricultores tomar decisiones informadas sobre la planificación de cultivos, selección de variedades de maíz resistente a inundaciones y la implementación de prácticas agrícolas adecuadas que contribuya a la reducción de pérdidas económicas y agrícolas que permiten la protección del cultivo y prevención antes de que ocurra encharcamiento o inundaciones que lleguen afectar la plantación del cultivo.

Establecer un mapeo adecuado para conocer cotas bajas ante las amenazas que pueden generar las inundaciones resulta oportuno para evitar la generación de mayor impacto a los suelos y los cultivos, evitando presencia de inconveniente que provoquen daños en cultivos, infraestructura o problemas con la calidad de vida.

Las plantaciones situadas cercanas a los ríos, esteros, lagunas, represas. Enfrentan mayores riesgos de inundaciones, porque están expuestas a los cambios climáticos y factores ambientales como las intensas lluvias, tormentas, desbordamiento de ríos. Para reducir estos riesgos y poder proteger la producción agrícola, es importante realizar investigaciones para tomar las mejores decisiones al realizar la siembra o implementar estrategias de mitigación (Espinoza y González, 2023).



#### 1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Este proyecto se realizó en la hacienda Borinquen ubicada en el cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.
- **Tiempo:** La presente investigación tuvo una duración de seis meses, desde el mes de febrero 2024 hasta agosto 2024.
- **Población:** Este estudio está dirigido a todos los pobladores del cantón Isidro Ayora, estudiantes, docentes y demás personas interesadas en el tema.

#### 1.5 Objetivo general

Identificar las zonas inundables que afectan el cultivo de maíz utilizando herramientas de Sistema de Información Geográfica, en el cantón Isidro Ayora, provincia del Guayas.

#### 1.6 Objetivos específicos

- Caracterizar zonas de inundación y su relación con el desarrollo del cultivo de maíz.
- Aplicar tecnología de percepción remota para proporcionar información relacionada a inundaciones.
- Representar a través de mapas temáticos las zonas más susceptibles a inundaciones en el cultivo de maíz.

#### 1.7 Hipótesis

Se logrará identificar las zonas inundables en el área productiva del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) con el uso de sistema de información geográfica (SIG).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estado del arte

Según el estudio realizado por los autores Caicedo et al. (2019) se basó en la evaluación de la tolerancia del maíz híbrido S-810 a diferentes duraciones de inundación, con el fin de determinar el impacto en el rendimiento y la fisiología de la planta. El cultivo afectado por inundaciones mostró ciertas características en su desarrollo y coloración de la hoja, como también en su rendimiento, para este estudio utilizaron un diseño experimental basado en la exposición del cultivo a distintos periodos de encharcamiento, se identificó que las inundaciones prolongadas de 72 horas reducen la productividad del maíz de manera significativa, destacándose una disminución de hasta 6.03 toneladas por hectárea en comparación con las 8.8 toneladas obtenidas en condiciones normales.

Esparza (2019), menciona la identificación y análisis de áreas inundables a partir de una metodología utilizada de urbano-ambiental donde hace énfasis en las herramientas teóricas para lograr obtener varias escalas espaciales a partir de variación de tipos de análisis de áreas inundables a bajo riesgo hídrico. Logró reconocer el origen, tipo de afectación de las inundaciones, y por medio del SIG identificó el cómo, por qué, y con qué variabilidad se generan o suceden. los motivos por el cual se generan, áreas afectadas para realizar la mitigación o erradicación depende del grado de afectación.

En este estudio que realizaron los autores Nina y Román (2022), se evaluó la vulnerabilidad y los peligros ambientales en la cuenca del río Moquegua mediante un modelamiento geoespacial. El enfoque se basó en la metodología propuesta por Crepani, 2001 que incluye la creación de mapas temáticos a través del análisis de factores, ponderación de atributos y álgebra de mapas. Los resultados indicaron que la cuenca del río Moquegua presenta niveles de amenaza por deslizamientos e inundaciones que varían desde muy alto hasta bajo. También se abordó la relación entre la vulnerabilidad ambiental y los peligros identificados, integrando mapas de amenazas en el área de estudio. Se determinó que la cuenca tiene un grado muy alto de vulnerabilidad, lo que sugiere que eventos como inundaciones o deslizamientos son más probables. Adicional, se observó un alto riesgo cerca de la microcuenca, con una probabilidad considerable de desbordamientos durante épocas de avenidas, lo que podría impactar a la población cercana.

El estudio realizado por Baltazar et al. (2021) mencionan que su finalidad fue identificar las zonas inundadas de maíz por medio del análisis de imágenes satelitales, para conocer las pérdidas económicas, en su enfoque metodológico, emplearon imágenes de satélites Landsat 8 (L8), y realizaron cálculos basados en índices espectrales en específicos de agua, vegetación y humedad. Los índices espectrales que resultaron con mayor efectividad para detectar zonas inundadas fueron el índice de diferencia normalizada modificado (MNDWI) y el índice diferencial normalizado de agua (NDWI). La valoración de los perjuicios hectárea oscilan entre los 728.57 USD/ha y los 317.25 USD/ha en relación con la paridad de poder adquisitivo (PPA). Estos valores concuerdan con las estimaciones previas efectuadas en otros países para el cultivo de maíz.

Según Loor et al. (2023) en su trabajo titulado “Susceptibilidad a eventos por inundaciones en un sector del área urbana del cantón Rocafuerte (Manabí-Ecuador): aproximación desde un enfoque multicriterio” mencionan que tuvieron un enfoque multicriterio al aplicar Sistemas de Información Geográfica (SIG), en Rocafuerte-Manabí, se conocía que es una zona propensa a inundaciones, debido a las fuertes precipitaciones por ende su metodología fue de tipo descriptiva y utilizaron software SAGA GIS, para poder analizar el modelo espacial de áreas susceptibles a inundaciones dentro de la microcuenca. En dicho estudio se aplicó una evaluación multicriterio y construyeron un modelo estudio el cual emplea diversas naturalezas entre ellos mapas elaborados y obtuvieron como resultados coincidencia espacial con otros estudios dando a conocer que su investigación aporta precisión cartográfica.

Vargas et al. (2021). Indican que las inundaciones son el riesgo natural con mayores impactos socioeconómicos y territorial, sin embargo, su estudio plantea una evaluación multiescalar del tratamiento de la cartografía de riesgo de inundación, examinaron los casos de ciertas ciudades o comunidades que se encontraban expuestas a inundaciones y comunidades que tienen vulnerabilidad a inundaciones e identificaron que es de gran importancia realizar una planificación urbana y realizar evaluaciones de las zonas que se encuentran en vulnerabilidad a inundaciones.

Según Reyna et al. (2020), la investigación se basa en identificar los asentamientos humanos en zonas vulnerables a inundaciones y deslizamientos en Portoviejo, Ecuador, utilizando imágenes satelitales de 2017 y tecnología SIG. Se

digitalizó la expansión urbana y se cruzó con cartografía de riesgos para mapear áreas de alta vulnerabilidad. Los resultados revelan que, en 2017, los asentamientos cubrían 3150 hectáreas, de las cuales 15.35 hectáreas estaban en áreas protegidas, 427.69 hectáreas presentaban alta amenaza de inundación y dos hectáreas estaban en zonas de amenaza media a deslizamientos. Este estudio resalta la necesidad de una mejor planificación urbana para reducir la vulnerabilidad a eventos catastróficos y proteger a las comunidades.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Cultivo de maíz**

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta de la familia de las gramíneas, que tiene un tallo cilíndrico, hojas largas, su altura oscila entre un metro hasta los tres metros de altura. Y es conocido como choclo o maíz dulce (Findlay et al. 2021).

La investigación realizada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2021), indican que en Ecuador se cosechan 365334 ha con un rendimiento promedio de 4.58 toneladas por hectárea y una producción total de 1'479700 toneladas (t). Estas cifras reflejan la importancia del cultivo del maíz en Ecuador, dado que su producción principal está destinada a la alimentación humana y animal.

En la región Sierra, se cultivan gran diversidad de maíz en cuanto a sus características como tipos, colores, texturas y formas; además se ha registrado un incremento en el consumo directo tanto en grano como el consumo directo. Sin embargo, una de las principales limitantes del cultivo en la Sierra es su bajo rendimiento, con 1.63 t ha<sup>-1</sup> en grano seco. En la región Costa o Litoral, el maíz amarillo duro es predominante para la industria de alimentos balanceados y en un bajo porcentaje el maíz de tipo blanco duro está destinada para consumo humano en choclo (Caviedes et al. 2022).

#### **2.2.1.1. Origen del maíz**

El maíz es originario de india es un cultivo milenario que se remonta a unos 7000 años de aproximación, en los inicios era cultivado en América Central y en una parte de México. En la actualidad se ha expandido este cultivo por todos los países y en gran parte de Europa, Estados Unidos se destaca por su elevada producción de maíz. El origen de este cultivo no está definido, pero se conoce que es perteneciente a los cultivos de México (Guillín et al. 2020).

El cultivo de maíz se originó mediante el proceso de la domesticación que lo realizaron los antiguos habitantes de Mesoamérica. Este proceso partió de los “teocintles” unas gramíneas muy similares al maíz que crecen en México y parte de Centroamérica como es Guatemala se cree que las poblaciones teocintles del centro de México podrían haber sido los ancestros a partir de los cuales el maíz se doméstico (Caballero et al. 2020).

#### **2.2.1.2. Taxonomía**

La taxonomía del cultivo de maíz según Muñoz (2019), se define de la siguiente manera: Reino Plantae, División Liliopsida, Subdivisión Magnoliophyta, Clase Monocotyledoneae, Subclase Commelinidae, Orden Poales, Familia Poaceae, Subfamilia Paricoideae, Tribu Andropogoneae, Subtribu Tripsacinae, Género Zea, Especie Zea mays L. (p.29)

#### **2.2.1.3. Morfología**

La panta de maíz es una gramínea anual que se encuentra compuesta por distintas partes morfológicas que se detallan a continuación, y es conocida como una planta monoica la cual tiene presencia de flores de ambos sexos (masculinas y femeninas) pero en la misma planta (Deras, 2020).

##### **2.2.1.3.1. Raíz.**

La planta de maíz posee raíces germinativas o temporales, raíces de anclajes que son conocidas como raíces adventicias, incluso existen las raíces permanentes que pueden llegar a alcanzar los dos metros de profundidad, aunque pueden varias depende de las condiciones en las que se desarrolle el cultivo, sus raíces podrían extenderse en un diámetro de un metro y medio (Gavilanes, 2021).

##### **2.2.1.3.2. Tallo.**

El tallo del maíz es una estructura o eje que se encuentra compuesta por segmentos denominados nudos y entrenudos, la cantidad de nudos y su longitud pueden variar, en la parte inferior y subterránea del tallo, los entrenudos son muy cortos y son el punto de origen de las raíces principales y brotes laterales. Los entrenudos ubicados en la parte superior del tallo son de forma cilíndrica, y al visualizar en corte transversal se observa que la epidermis se forma de paredes gruesas y los haces vasculares que su función principal es la conducción de agua y sustancias nutritivas absorbidos del suelo o elaboradas en las hojas (Lázaro et al. 2020).

### **2.2.1.3.3. Hojas.**

Esta gramínea posee hojas con similitud con otras plantas de la familia Poaceae, la hoja se encuentra constituida de tres partes: la vaina, el cuello y lámina. La lámina es una banda angosta y delgada que puede alcanzar hasta 1.5 m de largo por 0.1m de ancho, y termina en un extremo muy afilado. El nervio central de la hoja está bastante desarrollado y sobresale en la parte inferior de la hoja, mientras que en la parte superior es cóncavo (Lázaro et al. 2020).

### **2.2.1.3.4. Inflorescencia.**

El maíz al ser una planta monoica posee inflorescencia masculina y femenina separados dentro de la misma planta.

La inflorescencia masculina es conocida como espiga, panícula o panoja, de coloración amarilla que posee una aproximación de unos 20 a 25 millones de granos de polen en cada florecilla que compone la panícula.

La inflorescencia femenina se le denomina como espigas de formas cilíndricas, contiene menor granos de polen de unos 800 a 1000 y es donde se forman las mazorcas (Acuña, 2019).

### **2.2.1.3.5. Mazorca.**

La mazorca a diferencia de la mayor parte de las poáceas, la espiga es compacta y se encuentra protegida por las hojas modificadas o transformadas, que en la mayoría de los casos la envuelven por completo (Lázaro et al. 2020).

## **2.2.1.4. Requerimientos climáticos y edáficos**

Según estudios por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2014). Indica que el Ecuador tiene gran diversidad de climas y suelos debido a su ubicación geográfica, desde Costa, Sierra y Amazonía, por ende, las condiciones pueden variar según su ubicación geográfica donde se encuentre sembrado el cultivo de maíz.

### **2.2.1.4.1. Precipitación.**

El cultivo de maíz es sensible a las condiciones de precipitaciones y por lo general requiere de una precipitación anual de 500 mm a 1200 mm por año. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que pueden existir variaciones que dependen de la región y la variedad cultivada, debido a que diferentes variables pueden tener sus requerimientos hídricos diferentes (INIAP, 2021).

#### **2.2.1.4.2. Temperatura.**

La temperatura para la germinación del maíz es bastante determinada. Para una germinación de semilla la temperatura debe estar entre 15 y 20°C, en temperaturas menores a 12°C, produce retraso de germinación de semilla y pasado los 28°C, son dañinas para la germinación (Saavedra, 2021).

#### **2.2.1.4.3. Altitud.**

El maíz se cultiva en una diversidad de altitudes de Ecuador, desde las zonas bajas hasta las zonas altas, la altitud optima oscila entre los 45-125 m.s.n.m. de acuerdo a las variaciones se puede sembrar hasta altitudes superiores a 2600 msnm (Roca, 2019).

### **2.2.2 ARCGIS**

ArcGIS es una herramienta completa creada por las industrias Environmental Systems Research Institute (ESRI), y se define como una herramienta que posibilita la recopilación, organización, gestión, análisis, compartición y difusión de datos geográficos, facilita la publicación de datos geográficos.

ArcGIS tiene capacidad de consolidar datos de diversas fuentes en una vista geográfica unificada. Las fuentes abarcan desde bases de datos geográficas, datos tabulares de sistemas de gestión de bases de datos (DBMS) y demás sistemas corporativos, hasta archivos, hojas de cálculo, vídeos y fotos con etiquetas geográficas, datos en formato KML, datos CAD, flujos en tiempo real de sensores, imágenes aéreas y satelitales. incluso cualquier registro de información que incluya una referencia geográfica, como una dirección, el nombre de una ciudad, un código de parcela, coordenadas GPS, puede ser geolocalizado y visualizado en un mapa (Cabeza et al. 2022).

#### **2.2.3 Componente de un SIG**

La integración y el funcionamiento en conjuntos de todos estos componentes permiten que los usuarios o personas puedan recopilar, gestionar y analizar información geoespacial para una variedad de aplicaciones, desde la cartografía y planificación urbana hasta la agricultura de precisión y gestionar recursos naturales (Von, 2016).

#### **2.2.4 Agricultura de precisión**

La finalidad de la agricultura de precisión es aumentar la productividad agrícola, su eficiencia y busca reducir el impacto ambiental generado en el proceso

de la siembra hasta la cosecha. Es conocida como grupo de tecnologías que permite la aplicación de insumos agrícolas de manera inconstante dentro de un terreno agrícola, debido a los requerimientos de sectores similares (Moreano et al. 2019).

### **2.2.5 Inundación**

Las inundaciones son producidas cuando una gran cantidad de agua cubre amplias zonas de tierra, por consecuencia causa un aumento el nivel de ríos, lagunas, arroyos y hasta el mar. Este es un fenómeno natural que representa una amenaza considerable para la humanidad, industria, viviendas, agricultura y la ganadería. Las inundaciones han incrementado debido a la influencia del ser humano en el medio ambiente y al incremento de las intensas precipitaciones (Morote y Olcina, 2022).

### **2.2.6 Inundaciones en la agricultura**

Las fuertes precipitaciones provocan múltiples daños que afectan de manera principal a las zonas rurales y a los agricultores que suelen verse afectados por pérdidas de sus cosechas o de las infraestructuras de sus explotaciones, el no poder ingresar a sus predios agrícolas para realizar los tratamientos necesarios o verificar si los cultivos se ven afectados por enfermedades que provienen de las lluvias, humedad. Esto ocurre en zonas bajas que son consecuencia de los desbordamientos de ríos o lluvias torrenciales (Machetti, 2019).

### **2.2.7 Monitoreo de zonas inundables con tecnologías geoespaciales**

El uso de la teledetección y los sistemas de información geográfica es una alternativa para poder observar el fenómeno, debido a que brinda un medio indirecto de análisis y los efectos causados. Para la interpretación de una zona de inundación es necesario realizar un sinergismo con imágenes de varias características en su resolución y a la final generar una nueva imagen que aumente los niveles de detalles para tener una información completa, sin embargo se encuentran las condiciones topográfica favorables para su aceleración de la evacuación de las agua, como finalidad se busca que por medio del Modelo Digital de Elevaciones (MDE) se logre extraer las curvas de nivel bien cercanos de un intervalo de diez metros, para poder identificar de forma aproximada la zona inundada. Luego con la intersección entre las capas correspondientes a la predicción urbana y área delimitada se elabora un estimativo de los predios y áreas afectadas por la inundación (Ardila y Quintero, 2013).



### **2.2.8 Modelo digital de elevaciones (MDE o DEM)**

Es una representación simbólica y digital del terreno en formato numérico. Este modelo se utiliza para mostrar la distribución de la altitud del terreno, donde la altura es una variable que se mide en un sistema de referencia determinado y se distribuye en un espacio bidimensional. Existen dos tipos de modelos de datos para representar MDE: los vectoriales y los ráster. Los modelos vectoriales incluyen elementos como curvas de nivel, perfiles y la Red de Triángulos Irregulares (TIN, por sus siglas en inglés), mientras que los modelos ráster se basan en una matriz de celdas regulares con alturas asignadas a una cuadrícula de filas y columnas equidistantes. Es importante destacar que no todos los MDE son igual de eficaces, ya que varían en términos de resolución y precisión, y las diferentes aplicaciones requieren diferentes niveles de detalle (Burgos y Salcedo, 2014).

## **2.3 Marco legal**

Este proyecto tendrá en cuenta las disposiciones legales de apoyo a la investigación arraigadas en la Constitución de la República del Ecuador, la ley recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua.

### **2.3.1 Constitución de la República del Ecuador**

#### **SECCIÓN NOVENA GESTIÓN DEL RIESGO**

**Art. 389.-** El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

El sistema nacional descentralizado de gestión de riesgo está compuesto por las unidades de gestión de riesgo de todas las instituciones públicas y privadas en los ámbitos local, regional y nacional. El Estado ejercerá la rectoría a través del organismo técnico establecido en la ley. Tendrá como funciones principales, entre otras:

- 1.** Identificar los riesgos existentes y potenciales, internos y externos que afecten al territorio ecuatoriano.
- 2.** Generar, democratizar el acceso y difundir información suficiente y oportuna para gestionar adecuadamente el riesgo.
- 3.** Asegurar que todas las instituciones públicas y privadas incorporen obligatoriamente, y en forma transversal, la gestión de riesgo en su planificación y gestión.
- 4.** Fortalecer en la ciudadanía y en las entidades públicas y privadas capacidades para identificar los riesgos inherentes a sus respectivos ámbitos de acción, informar sobre ellos, e incorporar acciones tendientes a reducirlos.

5. Articular las instituciones para que coordinen acciones a fin de prevenir y mitigar los riesgos, así como para enfrentarlos, recuperar y mejorar las condiciones anteriores a la ocurrencia de una emergencia o desastre.
6. Realizar y coordinar las acciones necesarias para reducir vulnerabilidades y prevenir, mitigar, atender y recuperar eventuales efectos negativos derivados de desastres o emergencias en el territorio nacional
7. Garantizar financiamiento suficiente y oportuno para el funcionamiento del Sistema, y coordinar la cooperación internacional dirigida a la gestión de riesgo. (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Art 389).

### ***2.3.2 Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua***

#### **TÍTULO PRIMERO: DEL DOMINIO HIDRICO PÚBLICO**

#### **CAPÍTULO PRIMERO: EXTENSIÓN, TIPOS Y DEFINICIONES**

**Art. 60.-** Zonas inundables son los terrenos que pueden resultar inundados durante las crecidas no ordinarias de los lagos, lagunas, embalses y ríos. Estos terrenos conservarán su naturaleza jurídica. Su titularidad no será afectada por la delimitación de dichas zonas.

Corresponderá a la Autoridad de Demarcación Hidrográfica o el responsable Técnico del Centro de Atención al Ciudadano correspondiente la delimitación de las zonas inundables, lo que realizará con ayuda de estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas. Graduará su extensión en función de los niveles distritos de inundación según períodos temporales sobre los que exista suficiente información y documentación técnica.

Las conclusiones que se deriven de los citados estudios y las decisiones sobre

determinación y delimitación de las zonas inundables se trasladarán a los Gobiernos Autónomos Descentralizados para que la tengan en cuenta en su política de ordenamiento territorial. Los planes que, en su caso, aprueben los Gobiernos Autónomos Descentralizados y en los que se recojan las zonas inundables, se remitirán a la Secretaría del Agua para su conocimiento. Igualmente, los Gobiernos Autónomos Descentralizados deberán dar conocimiento a la Secretaría del Agua de las autorizaciones de ocupación de suelo que otorguen y que tengan lugar en las zonas inundables delimitadas. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2015, p.20).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Enfoque de la investigación

La metodología del presente trabajo tuvo como enfoque la identificación de áreas vulnerables a inundación en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), basado en la recopilación de información proveniente de la zona de estudio, con la elaboración de mapas temáticos se logró evaluar la topografía, identificando las curvas de nivel y sus áreas o zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones.

##### 3.1.1 Tipo de investigación

La investigación que se realizó fue de tipo descriptiva y de campo, debido a que tuvo como enfoque recopilar información sobre datos topográficos, información del cultivo, realizar consultas a medios oficiales, software SIG, tomando como base mapas de vulnerabilidad y riesgos.

Su enfoque fue de propósito práctico y concreto, centrándose en identificar zonas inundables en áreas productivas de maíz por medio del sistema de información geográfica para abordar el problema actual relacionado entre la agricultura y gestión de riesgos.

##### 3.1.2 Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la hacienda Borinquen, ubicado en el cantón Isidro Ayora con las siguientes coordenadas UTM 596346.98 m E 9781880.41 m S.

Este estudio fue de tipo no experimental, debido a que, las variables a utilizar son datos definidos de SIG y adquiridos de la observación de campo e información brindada por los agricultores, estas fuentes oficiales suministraron los datos principales para la elaboración de mapas temáticos permitiendo identificar los posibles riesgos de encharcamiento o inundación en el cultivo, por ende, no se llevó a cabo ninguna manipulación controlada de variables

#### 3.2 Metodología

##### 3.2.1 Variables

Según el tipo de investigación, se incluyen las variables.

##### 3.2.1.1. Variable independiente

##### 3.2.1.1.1. Datos topográficos.

Los datos fueron proporcionados por productores de la zona de estudio y la topografía se analizó mediante el uso de modelos digitales de elevación (DEM) para identificar las pendientes. Estas características influyen en la dirección del flujo del

agua, afectando la propensión a inundaciones, las unidades de medición fueron en metros (m).

### **3.2.1.2. Variable dependiente**

#### **3.2.1.2.1. Áreas inundables.**

Las áreas inundables se identifican mediante el análisis de datos combinados con la topografía del suelo, y los ríos cercanos al lugar en estudio. Estas zonas representan las áreas con mayor riesgo de inundación, y se mapean utilizando el SIG para facilitar la planificación y gestión de riesgos.

#### **3.2.1.2.2. Mapeo de áreas inundables.**

En esta variable se representará mediante mapas temáticos que de manera visual muestren las áreas con mayor susceptibilidad a inundaciones en el área de estudio del cultivo de maíz.

### **3.2.2 Tratamientos**

Para llevar a cabo este estudio, se identificó que no requiere de ningún tipo de tratamiento para la identificación y la generación de los mapas con áreas vulnerables a inundaciones, debido a que esta investigación es de tipo no experimental.

### **3.2.3 Diseño experimental**

No se realizó ningún tipo de diseño experimental para generar los mapas temáticos de las zonas vulnerables a encharcamiento o inundaciones en el cultivo.

### **3.2.4 Recolección de datos**

#### **3.2.4.1. Recursos**

Las herramientas digitales y gestores de contenido para llevar a cabo esta investigación son las siguientes:

- Software SIG (ARCGIS)
- Earth Explorer (Landsat 8)
- Google Earth
- Libreta de campo
- Bolígrafo
- Computadora
- Impresora
- Celular
- Datos del cultivo de maíz (fecha de siembra)

### **3.2.4.2. Métodos y técnicas**

#### **3.2.4.2.1. Métodos.**

- **Método inductivo:** El método inductivo se basó en el análisis, observación y obtención de información de fuentes confiables y comprobar las afectaciones que causan las zonas susceptibles a inundaciones. Se aplicó el método al analizar sobre la topografía y su uso del suelo. A partir de la observación se estas variables y sus efectos en inundaciones observadas en estudios previos, se desarrollaron generalizaciones sobre los factores que contribuyen a la identificación de zonas inundables.
- **Método deductivo:** Se utilizó parte de la teoría o principios generales para obtener un enfoque específico aplicable a las áreas de cultivo de maíz, por ende, se inició con principios teóricos relacionados a las inundaciones que luego se aplicó a las áreas de maíz asegurando resultados efectivos para la agricultura.
- **Método descriptivo:** Se utilizó este método para documentar y representar las características de las áreas productivas de maíz en relación con el riego a inundación. La investigación se basó en hacer la recopilación de datos como: información del cultivo, datos topográficos, datos geoespaciales a través de SIG, identificación de variables que puedan influir en la identificación de zonas inundables como elevación, pendiente del terreno, cercanía a cuerpo de agua para luego ser procesados mediante el software ARCGIS. A través del análisis descriptivo de datos topográficos y su uso del suelo, se crearon mapas temáticos que ilustran la distribución y extensión de las áreas inundables. Este enfoque permitió una comprensión detallada de las condiciones actuales.

#### **3.2.4.2.2. Técnicas.**

Para este estudio, se citó la metodología propuesta por Calixto (2017) titulada “Determinación de zonas Inundables o Susceptibilidad a inundaciones” Esta metodología proporciona un marco estructurado y detallado para comprender y gestionar los riesgos de inundaciones, asegurando así una gestión más informada y efectiva. La metodología se compone de cuatro fases fundamentales que se detallan a continuación: fase preliminar, fase explorativa, fase de ejecución y fase de resultados:

### **Fase preliminar**

En la fase preliminar, se llevó a cabo una recopilación exhaustiva de toda la información necesaria para conocer el contexto y las características de la zona de estudio. Este proceso incluyó la revisión detallada de datos históricos, la identificación de fuentes de información relevantes, y la preparación de los recursos indispensables para la investigación.

Se utilizó Modelos Digitales de Elevaciones (MDE o DEM), fundamentales para la elaboración de mapas precisos de áreas vulnerables a inundaciones. Además, se recopiló información crítica sobre la estructura de la zona mediante inspecciones de campo y consultas directas con las autoridades locales, asegurando que todos los aspectos relevantes fueran considerados en el análisis.

### **Fase exploratoria**

Durante esta fase explorativa, se llevó a cabo análisis preliminares y se realizó una exploración detallada del área de estudio. En este proceso, se identificaron las áreas con mayor potencial a inundaciones, analizando factores geográficos. Se seleccionó y revisó de manera cuidadosa la información recopilada en la fase preliminar para asegurar su precisión. Este paso incluyó la validación de los datos obtenidos de múltiples fuentes y la verificación mediante visitas de campo, garantizando así la confiabilidad de los insumos utilizados en los análisis.

### **Fase de ejecución**

En esta etapa de ejecución, se implementó las herramientas y técnicas seleccionadas para evaluar la susceptibilidad a inundaciones. Este proceso incluyó la integración y análisis de toda la información en un Sistema de Información Geográfica (SIG), lo que permitió realizar simulaciones y procesar los datos recogidos con precisión.

Se llevó a cabo diversos procedimientos hasta obtener mapas temáticos detallados que representan las áreas vulnerables a inundaciones. A medida que se procesaban los datos, se ajustaron los modelos según los resultados obtenidos, con un enfoque en realizar un análisis cuantitativo exhaustivo que permitiera obtener conclusiones precisas y fundamentadas.

### **Fase de resultados**

En esta fase final la presentación de los resultados es clara y precisa, y está respaldada por una justificación sólida que apoya las conclusiones del estudio.

Se realizó un análisis final que permitió identificar las zonas vulnerables a inundaciones en la hacienda Borinquen. Los resultados obtenidos fueron representados a través de mapas temáticos para la implementar medidas preventivas adecuadas. Este enfoque asegura una gestión integral del riesgo de inundaciones y proporciona las herramientas necesarias para tomar decisiones informadas.

**Objetivo 1. Caracterizar zonas de inundación y su relación con el desarrollo del cultivo de maíz.**

1. Recopilación y análisis de datos en campo.
  - Se realizó el reconocimiento y la observación directa del área de estudio ubicada en la hacienda Borinquen, cantón Isidro Ayora.
  - Recopilación de información necesaria del maíz proporcionada por los agricultores e ingenieros de la zona y se tomó apuntes registrando datos del cultivo (variedad de semilla, fecha de siembra, distancia de siembra, fertilización).
  - Se registró los factores hidrográficos que se visualizaban que podrían ser causante de inundaciones.
2. Análisis de características de plantas afectadas.
  - Se acudió a la zona más baja del cultivo del cultivo, donde se logró identificar consecuencias provocadas por las inundaciones que afectan al cultivo de maíz.
  - Se registró en la libreta de campo las afectaciones que se observó en el cultivo de maíz.
  - Se registró las afectaciones visibles ocasionadas por las inundaciones o escorrentías superficiales que causan daño al cultivo (amarillamiento, crecimiento tardío, tallos debilitados, raíces podridas).
  - Se identificó y se registró las cotas bajas y cuerpos de agua presente en la zona que podrían ser causante de inundaciones.
3. Verificar que la zona de estudio se encuentra en riesgos a inundaciones.
  - Se acudió a la plataforma de secretaria de gestión de riesgo de Ecuador para verificar que la zona de estudio podría ser propensa a inundaciones.

**Objetivo 2. Aplicar tecnologías de percepción remota para proporcionar información relacionada a inundaciones.**

- Se adquirió imágenes satelitales de alta resolución landsat y Sentinel -2 para analizar la zona de estudio ante el evento de posibles inundaciones. Estas imágenes permiten identificar los cambios relacionados a inundaciones.
- Se obtuvo el DEM del área de estudio, proporcionando una base para analizar las pendientes del suelo y el uso del suelo en relación con la susceptibilidad a inundaciones.
- Se calculó el NDWI con el uso de imágenes satelitales para identificar los cuerpos de agua presente en el área de estudio.
- Una vez obtenido los resultados del análisis espacial mediante el software SIG, se procede a la elaboración de los mapas temáticos para su mejor comprensión.
- Se elaboró mapas temáticos de inundaciones con el uso de imágenes satelitales y se combinó con el shapefile de los ríos y la capa de pendientes. Estos mapas se integraron en SIG para visualizar de manera clara las zonas inundables y facilitar la interpretación.

**Objetivo 3. Representar a través de mapas temáticos las zonas más susceptibles a inundaciones en el cultivo de maíz.**

- Se generó el mapa de pendientes utilizando el DEM. Este mapa ayuda a la identificación de áreas con pendientes suaves o bajas que pueden ser más susceptibles a inundaciones.
- Se debe reclasificar la capa de las pendientes de acuerdo al estudio para obtener unos mejores resultados.
- Se debe adjuntar un shapefile de los ríos (fuentes de agua) para realizar el cálculo de la distancia euclidiana.
- Reclasificar la distancia euclidiana en función de los ríos y la reclasificación se debe dejar con cuatros valores para identificar áreas cercanas a la fuente hídrica (ríos) que presentan mayor riesgo de inundación.
- Se integró la capa de pendiente reclasificada con la capa de distancia euclidiana reclasificada en el software SIG para realizar la suma y obtener los resultados de las áreas afectadas por inundaciones o propensas a inundaciones.



- Se validaron con los datos de campo, realizando ajustes para mejorar la precisión de la identificar de estas zonas afectadas por inundaciones.
- Se incluye elementos cartográficos grillado (cuadrícula) al mapa, se debe ajustar de acuerdo al mapa para no sobrecargar el diseño, también se debe adjuntar etiquetas, escala que deben ser claras y legibles.

### **3.2.5 Análisis estadístico**

En la presente investigación se hizo uso de un análisis de estadística descriptiva, por ende, en este estudio se implementó tablas de datos y gráficos que organizan de manera sistemática la información relevante que se utilizó, las cuales representan las variables que intervienen en las zonas inundables y la elaboración de mapas temáticos, por consiguiente, el estudio no se basó en un modelo estadístico.

#### **3.2.5.1. Tablas de datos**

Las tablas de datos utilizados en esta investigación han sido seleccionada y organizada para presentar la información esencial de los análisis y resultados obtenidos. Entre los datos considerados se encuentran: datos de información del cultivo de maíz, La ubicación geográfica, la relación entre las zonas inundables y el cultivo, Cada tabla ha sido diseñada para facilitar la interpretación de los datos que influyen en la vulnerabilidad del cultivo frente a inundaciones.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización de las zonas de inundación y su relación con el desarrollo del cultivo de maíz.

Para alcanzar este objetivo, se llevó a cabo la búsqueda, recopilación, revisión y selección de la información relevante del área de estudio. Se utilizó todos los medios oficiales disponibles, para asegurar la precisión y validez de los datos. Como parte de este proceso, se realizó una visita a la hacienda Borinquen, donde se recopiló información del cultivo de maíz que se detallada (Tabla 1).

**Tabla 1.**

#### ***Información del cultivo de maíz***

<b>Cultivo</b>	<b>Maíz</b>
Variiedad	Esplendor
Fecha de siembra	27/12/2023
Distancia de siembra	15 - 20 cm
Sistema de riego	No
Problemas por inundación	Si
Lote 1-5	140 ha
Control spodoptera f.	3 aplicaciones
Fertilización	1, 15, 30, 45 días

#### **Elaborado por: El autor, 2024**

Una vez obtenida y registrada la información sobre el cultivo en la agenda de campo, se procedió a identificar y documentar los factores hidrográficos que podrían influir en la afectación del cultivo. Entre los factores identificados se incluyen los siguientes:

- **Ríos:** El área de estudio está en proximidad a un río, cuya cercanía, junto con las fuertes precipitaciones, representa un riesgo significativo de daño para el cultivo.
- **Represas:** Se identificó represa una represa que, en caso de desbordamiento podría afectar a las áreas más cercanas o bajas.
- **Cauce de agua:** Se identifico una zona baja donde el agua fluye durante la temporada de lluvias, provocando esorrentía superficial que podría afectar el rendimiento del cultivo.

- Zona de inundación natural: se identificó que hay ciertas áreas dentro del campo de estudio que son susceptibles a la acumulación de agua durante las épocas de lluvias intensas.

A continuación, se documenta las alteraciones fisiológicas y los efectos adversos debido a las inundaciones y el encharcamiento ocasionado por las precipitaciones. Estos efectos adversos se describen en la tabla 2 y se ilustran de manera visual en anexos.

**Tabla 2.**

***Características del maíz afectado por inundaciones***

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Coloración amarillenta	Las hojas de maíz presentan una coloración amarillenta, resultado de la falta de oxígeno en las raíces, lo que impide adecuada respiración y nutrición.
Hojas con síntomas de marchitez	Se observó hojas marchitas y amarillentas, evidenciando clorosis, producto del anegamiento que dificulta la fotosíntesis eficiente.
Crecimiento retardado	Muchas plantas muestran un crecimiento lento o retardado, causado por las condiciones desfavorable del suelo saturado de agua.
Tallos atrofiados	Los tallos delgados, están debilitados y presentan una alta susceptibilidad al acame (caída), afectando la estabilidad de la planta.
Pudrición radicular	Se detectó pudrición en las raíces, consecuencia directa de la falta de oxígeno, lo que reduce de manera significativa la capacidad de absorción de agua y nutrientes.

**Elaborado por: El Autor, 2024**

Luego se llevó a cabo una exhausta recopilación, la cual resultó en la obtención de un conjunto detallado de datos, que incluye 15 coordenadas geográficas que permitieron una observación precisa y exacta del cultivo, abarcando un área total de 140 hectáreas. Estas coordenadas (Tabla 8), facilita su mejor interpretación. Con el apoyo de la plataforma de gestión de riesgos proporcionada por el Instituto Nacional de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales (INHAMI), se determinó que el cantón Isidro Ayora presenta una amenaza considerable de inundaciones bajo las condiciones pronosticadas de precipitaciones, durante el mes de febrero, se observó un incremento notable en el riesgo de inundaciones en la región, reflejando una tendencia preocupante para los productores del sector.

De acuerdo con estos datos, se muestra que el área con mayor riesgo de inundación está representada en un color rojo intenso en el mapa de pronóstico, como se ilustra en la (Figura 9). Este color simboliza el nivel más alto de peligro asociado a las inundaciones en el cantón Isidro Ayora.

La escala del pronóstico de amenaza por inundaciones, proporcionada por el INHAMI, se clasifica en cinco niveles de riesgo, cada uno se encuentra representado por un color distinto, como se detalla en la (Tabla 3). Esta escala permite la rápida identificación del nivel de riesgo en diferentes áreas del cantón

**Tabla 3.**  
***Escala de pronóstico a inundaciones en febrero***

<b>Color</b>	<b>Pronóstico de riesgo a inundación</b>
Verde claro	Muy bajo riesgo de inundación
Verde oscuro	Bajo riesgo de inundación
Amarillo	Moderado riesgo de inundación
Naranja	Alto riesgo de inundación
Rojo	Muy alto riesgo de inundación

**Elaborado por: el autor, 2024**

En este estudio se adjuntan los datos de precipitaciones y humedad correspondientes al cantón Isidro Ayora, los cuales son fundamentales para comprender que afectan el análisis de las zonas inundables. La información climática recopilada indica que los meses con la humedad relativa más elevada son febrero y marzo, alcanzando un 83%. En cambio, noviembre es el mes con la humedad relativa más baja, con un 67% (figura 10).

La precipitación del cantón indica que el mes de febrero se identifica como el mes más húmedo, con un total de 325 mm, lo que subraya su importancia en el contexto climático local. Por otro lado, noviembre se presenta como el mes más seco, registrando apenas 18 mm de precipitación. Estos datos son cruciales para la evaluación de las condiciones ambientales y la planificación de estrategias para la gestión de las zonas susceptibles a inundaciones (figura 11).

#### 4.2 Aplicación de tecnología de percepción remota para proporcionar información relacionada a inundaciones.

Para el desarrollo de este objetivo se centró en el uso de tecnologías de percepción remota como herramienta fundamental para la identificación de zonas inundables

Se realizó la obtención del (Modelo Digital de Elevación) DEM por medio de la plataforma Earth Explorer, El DEM fue crucial para comprender la topografía del terreno, lo que permitió identificar áreas con diferentes niveles de inclinación, que pueden ser factores para la acumulación de agua.

Luego de obtener la pendiente se procede con la herramienta reclassify (reclasificar) para realizar las respectivas reclasificaciones de la capa de pendiente de acuerdo a la tabla de clase de capacidad de uso de suelo de acuerdo a la pendiente que se encuentra en el geoportal IGM (tabla 4) del cantón de estudio Isidro Ayora, provincia del Guayas (González et al. 2011).

**Tabla 4.**

##### ***Clases de capacidad de uso de acuerdo a la pendiente***

<b>Capacidad de suelo (Clase)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Descripción</b>
I	0 – 5	casi plano
II	5 – 12	Suave
III	12 – 25	Moderadamente ondulado
IV	25 – 40	Ondulado
V	40 – 70	Fuerte
VI	70 – 100	Muy fuerte

**Fuente: Geopedología y amenazas geológicas    Elaborado por: el autor, 2024**

Como se observa en la tabla se encuentran siete clases de capacidad de suelo en función a la pendiente que inicia de 0% - 100% con sus respectivas descripciones.

Se continúa con la reclasificación se selecciona cuatro valores que son de 0% a 40% de pendiente y en la enumeración se realiza el cambio de valores y le damos la siguiente ponderación que muestra la tabla 5.

Tabla 5.

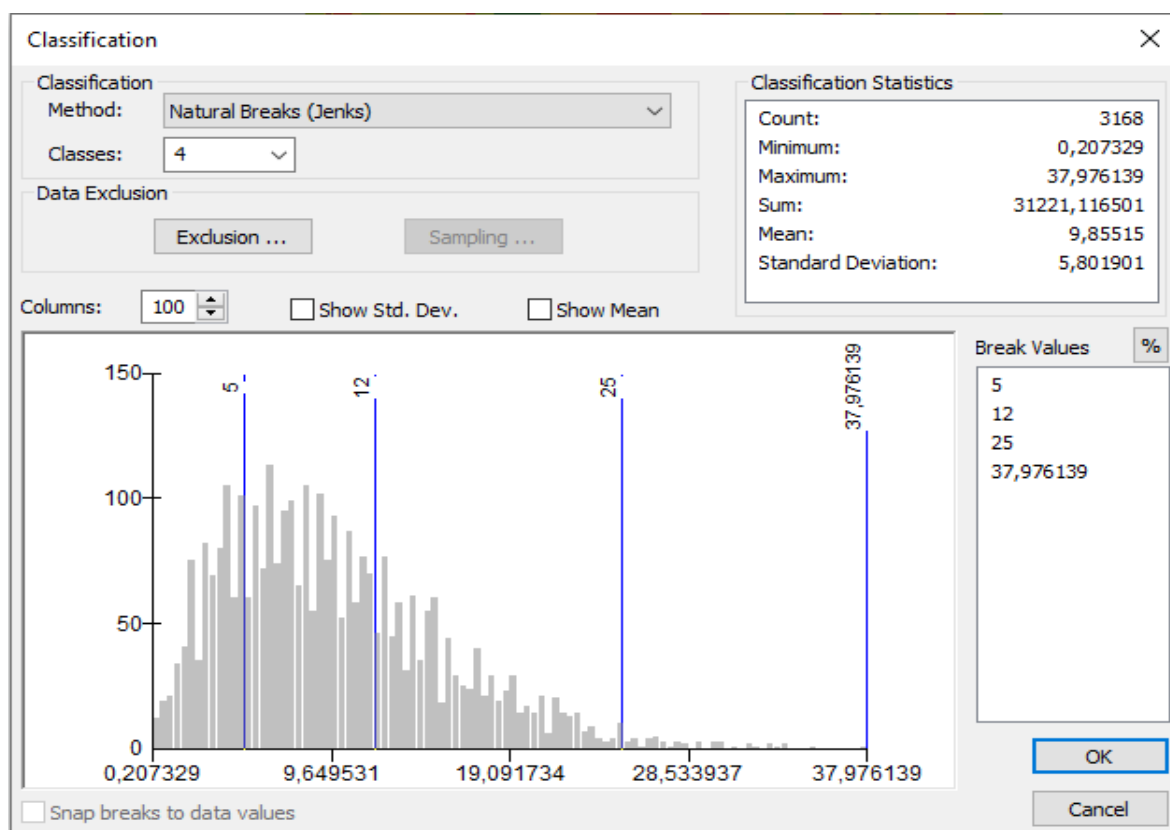
**Valores de reclasificación de pendiente**

Capacidad de suelo (Clase)	Rango de valores (%)	Categoría susceptibilidad
I	0 – 5	5
II	5 – 12	4
III	12 – 25	3
IV	25 – 40	2
V	>40 %	1

**Elaborado por: el autor, 2024**

Se procede a realizar la reclasificación de las pendientes de acuerdo a la (tabla 4) brindado por el Geopedología y amenazas geológicas, y los valores reclasificados quedan de la siguiente manera como se muestra en la (tabla 5). Esta reclasificación se realizó con la finalidad de brindar unos mejores resultados en función a las pendientes para determinar las zonas más propensas a inundaciones y podemos verificar la reclasificación en la (Figura 1).

Figura 1.

**Histograma de la reclasificación de la pendiente (%)**

**Elaborado por: el autor, 2024**

Para obtener el cálculo de la distancia euclidiana se utilizó la herramienta (euclidean distance), se crea un ráster que mide la distancia desde la pendiente hasta los ríos más cercano.

Al realizar este proceso se identificó que estas zonas presentan un mayor riesgo de inundación, de manera especial durante los eventos de crecida. Las zonas que se encuentran situadas a menos de 250 metros son identificadas como las zonas con mayor vulnerabilidad, debido a que tienen una proximidad a las fuentes de inundación (ríos). Se le realiza una ponderación de los valores que va desde uno siendo el valor mas lejano y cinco siendo el valor con mayor proximidad o cercanía del rio en función al área de estudio.

Para la respectiva reclasificación de la distancia euclidiana (euclidean distance) se utilizó los siguientes rangos en metros en función a los ríos (shapefile) y se le designó el valor de la ponderación como se muestra en la (tabla 6).

Haciendo énfasis donde la parte más cercana a los ríos se le designó el valor máximo que es cinco y la distancia euclidiana más lejana a los ríos se le asignó el valor de mínimo en la reclasificación.

**Tabla 6.**

***Valores reclasificados de distancia euclidiana (ríos)***

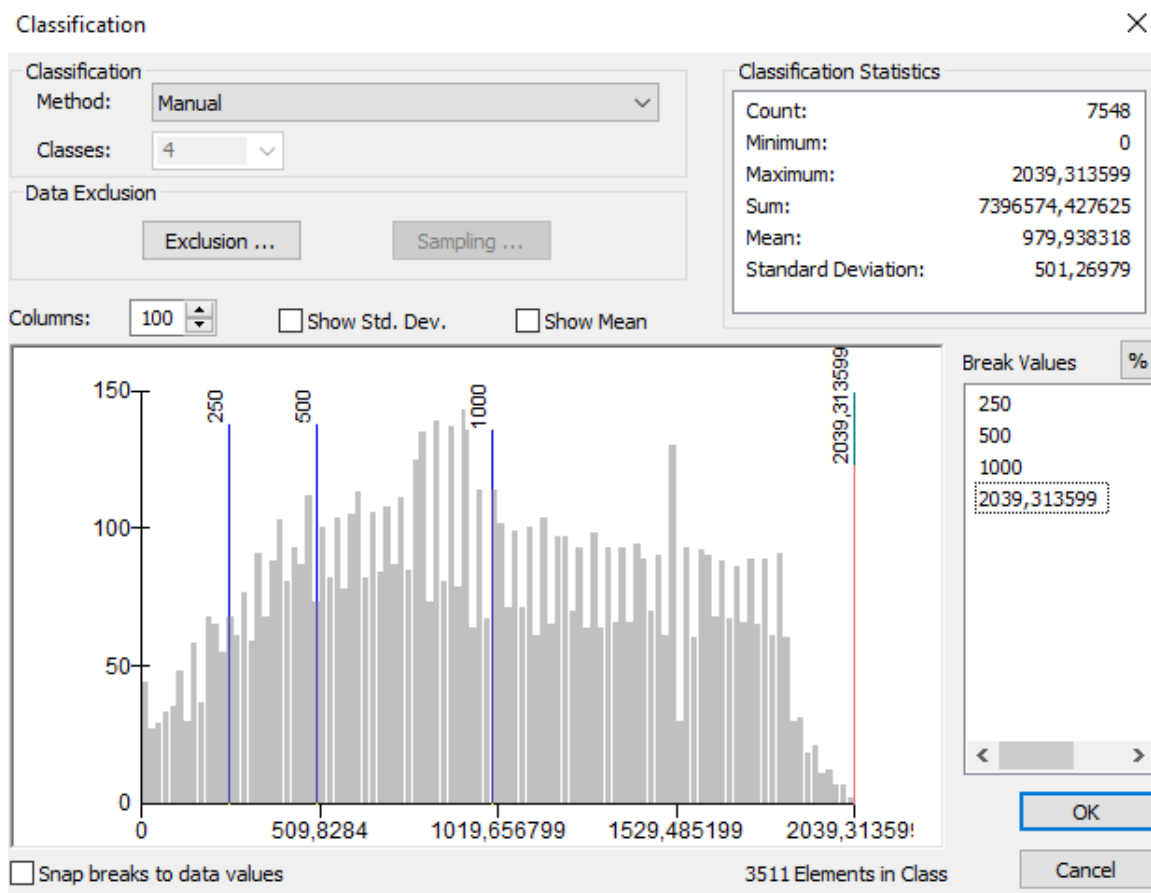
<b>Rango (m)</b>	<b>Ponderación (1-5)</b>
0 – 250	5
250 – 500	4
500 – 1000	3
1000 – máx.	1

**Elaborado por: el autor, 2024**

La alineación de las capas en función a la distancia euclidiana se realizó la reclasificación en cuatros valores como se muestra en el histograma (Figura 2). Iniciando en los 250 m de distancia.

Se observa que el valor mínimo como distancia euclidiana es cero (0) y el valor mayor de distancia euclidiana es de 2039.31m

Figura 2.

**Histograma de reclasificación de la distancia euclidiana**

**Elaborado por: el autor, 2024**

Para determinar las zonas inundables en el área de estudio, se empleó la herramienta Ráster Calculator.

Esta herramienta fue clave para generar el ráster final que indica las zonas con diferentes niveles de riesgo de inundación. El proceso consistió en realizar una suma de varias capas, operando entre ellas para generar una nueva celda en el ráster resultante, lo que se muestra en la Figura 3.

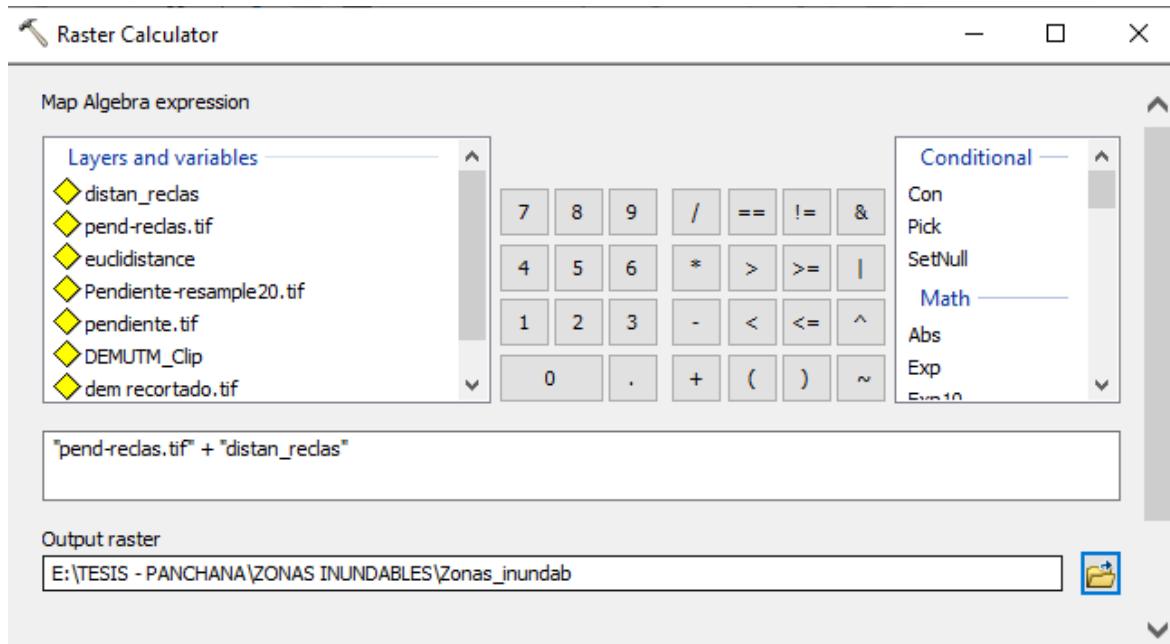
La sumatoria involucró la combinación de la capa de pendiente reclasificada con la capa de distancia euclidiana, también reclasificada. Al reclasificar estas capas, se asignaron valores específicos que reflejan el grado de susceptibilidad de cada celda a inundaciones, dependiendo de su pendiente y su proximidad a cuerpos de agua. Esta metodología permitió crear un modelo más preciso del riesgo de inundación en la zona, proporcionando una herramienta visual clara para identificar las áreas más vulnerables.



La combinación de estas capas en un único ráster facilita el análisis y la toma de decisiones en la gestión de riesgos y la planificación territorial. La capacidad de visualizar las zonas con mayor probabilidad de inundación en un solo mapa temático mejora la eficiencia en la implementación de medidas preventivas y de mitigación en el área de estudio.

**Figura 3.**

***Sumatoria de ráster para conocer las zonas inundables***

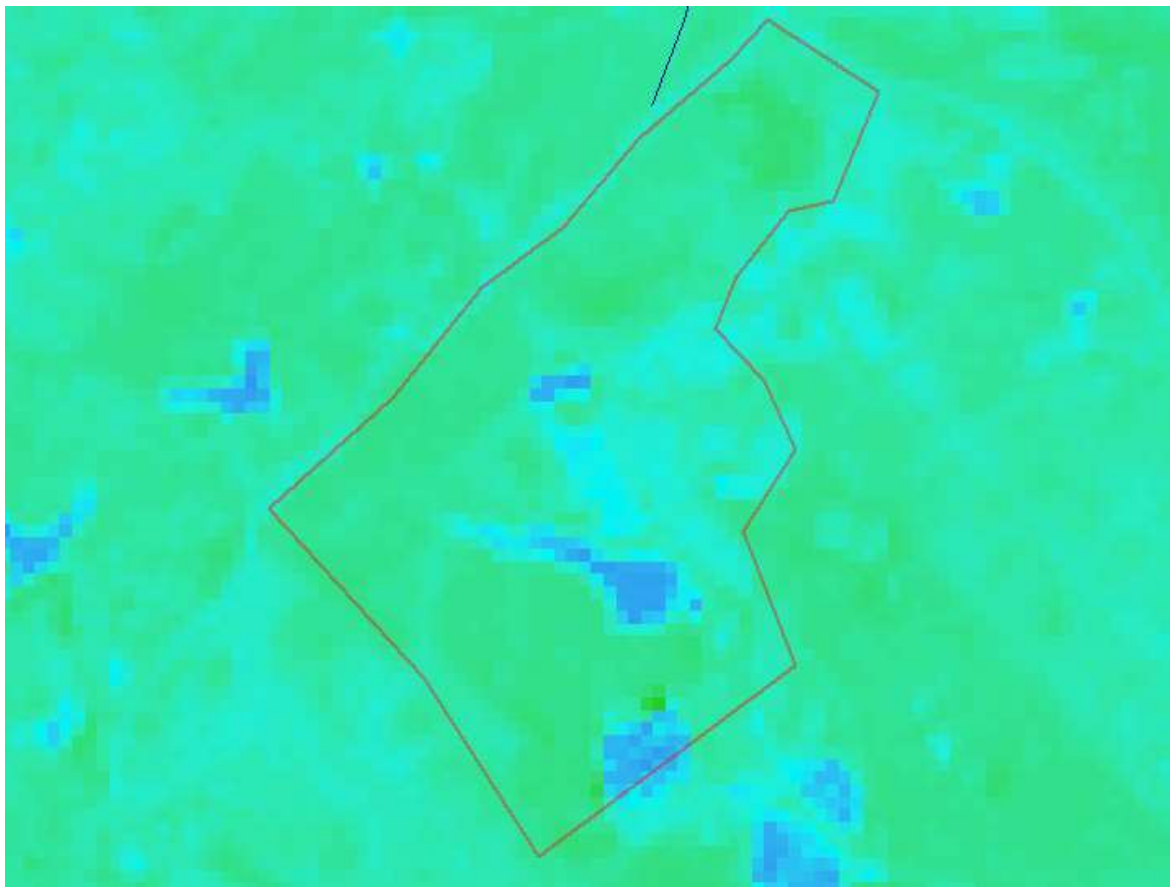


**Elaborado por: el autor, 2024**

Las áreas de riesgo en el estudio fueron categorizadas en niveles bajo, medio y alto, basándose en la proximidad a los ríos. Se establecieron rangos de 250, 500, 1000 y 2000 metros para esta reclasificación. Además, se empleó tecnología de percepción remota para identificar cuerpos de agua mediante la combinación de capas. El Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI) permitió detectar un cuerpo de agua, conocido como albarrada, que se representó en color azul intenso y fue corroborado en campo. Para calcular el NDWI, se utilizó la Banda 3 (Green) y la Banda 5 (NIR) con la fórmula:

$$NDWI = \frac{(Banda\ Green\ 3 - Banda\ 5\ NIR)}{(Banda\ Green\ 3 + Banda\ 5\ NIR)}$$

Y se obtuvo la combinación de las capas dando como resultado presencia de un cuerpo de agua (albarrada) dentro del área de estudio (Figura 4).

**Figura 4.*****Cuerpo de agua obtenida del NDWI***

**Elaborado por: el autor, 2024**

Después de realizar la verificación de la fuente de agua en el área de estudio, se determinó que ocupa una extensión de 1358 metros. Esta fuente se localiza en una zona elevada, lo que implica que los riesgos de inundaciones son mínimos o inexistentes. La ubicación estratégica en esta altitud reduce la probabilidad de que ocurra alguna afectación por fenómenos hidrológicos adversos, asegurando así la estabilidad de la zona respecto a posibles problemas de anegamiento.

#### **4.3 Representación a través de mapas temáticos las zonas más susceptibles a inundaciones en el cultivo de maíz.**

Se realizó la representación a través de mapas temáticos los resultados obtenidos de la identificación de zonas susceptibles a inundaciones en áreas productivas de maíz, utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

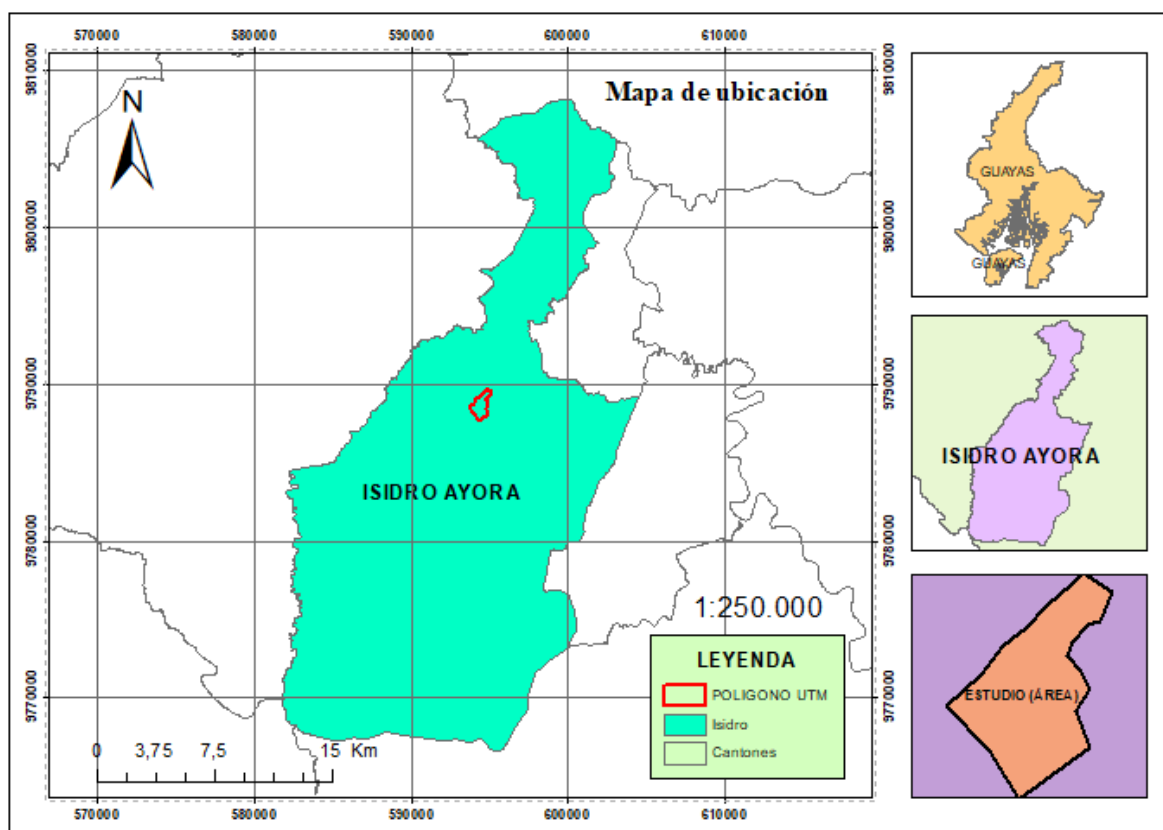
El mapa base de la zona de estudio donde indica su ubicación (Figura 5) Se observa de manera precisa las principales características geográficas del área

productiva de maíz. El estudio se llevó a cabo en la hacienda Borinquen, ubicada en el cantón Isidro Ayora, dentro de la provincia del Guayas.

Este mapa incluye una cuadrícula con una escala de 1:250000, permitiendo una visualización clara y precisa de la región estudiada.

**Figura 5.**

**Mapa temático de ubicación (hacienda Borinquen)**



**Elaborado por: el autor, 2024**

El mapa de curvas de nivel (Figura 6) muestra la topografía del área de estudio, donde se puede visualizar las áreas con pendiente más bajas representan un mayor riesgo de acumulación de agua, se puede evidenciar que hay curvas que van desde los 10 metros hasta los 60 metros.

En comparación de los resultados obtenidos en el software ArcMap se realizó la comprobación en campo y se identificó que coinciden con las curvas de nivel más bajas en donde la zona que más se afecta son las curvas de diez metros.

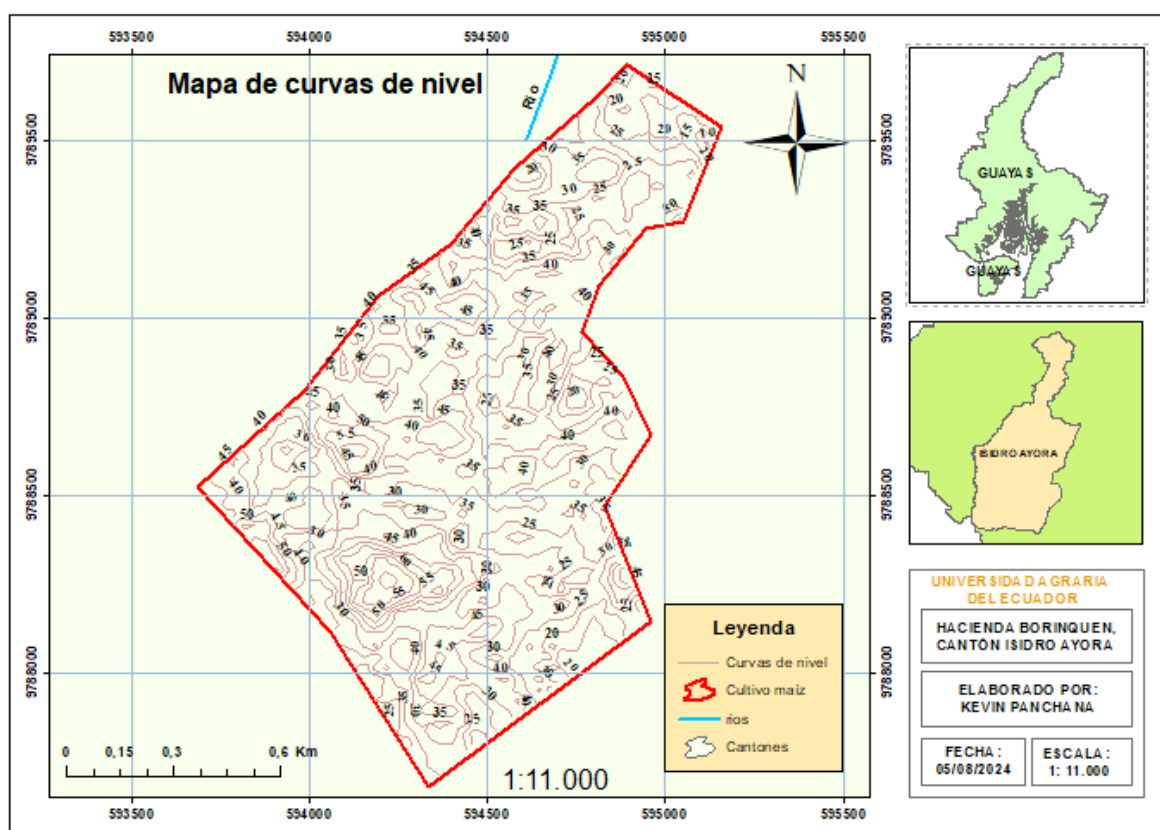
En la leyenda se puede encontrar cada coloración que indica, recordando que las curvas de nivel se encuentran representadas cada cinco metros, y en comparación con el mapa de susceptibilidad a inundaciones se puede comprobar

como las áreas con mayor afectación con las mismas que se encuentran con baja pendiente y que se encuentran cercanas a fuentes de aguas (ríos).

En la leyenda también se visualiza la información de la información geográfica del área de estudio

**Figura 6.**

**Mapa temático de curvas de nivel**



**Elaborado por: el autor, 2024**


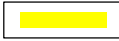

En este mapa de zonas susceptibles a inundaciones se realizó la ponderación mediante una tabla indicando la representación de cada color y también mostrando la cantidad de áreas (ha) que pueden ser susceptibles en caso de la presencia de lluvias intensas (Figura 7), las zonas de alto riesgo se localizan en áreas planas o con pendientes muy bajas y también en función a su cercanía a las fuentes de agua en este estudio tenemos un río cercano al lugar de estudio (Tabla 7).

Se realizó el conteo de las cantidades de áreas inundables identificadas y se representó que las de color rojo que son zonas con un alto riesgo de susceptibilidad existen siete cantidades, las de color amarillo existen 20 cantidades de áreas

inundables y las de color verde que su riesgo es muy bajo existen 45-50 cantidades de áreas inundables. Y su ponderación de valores es la siguiente tabla.

**Tabla 7.**

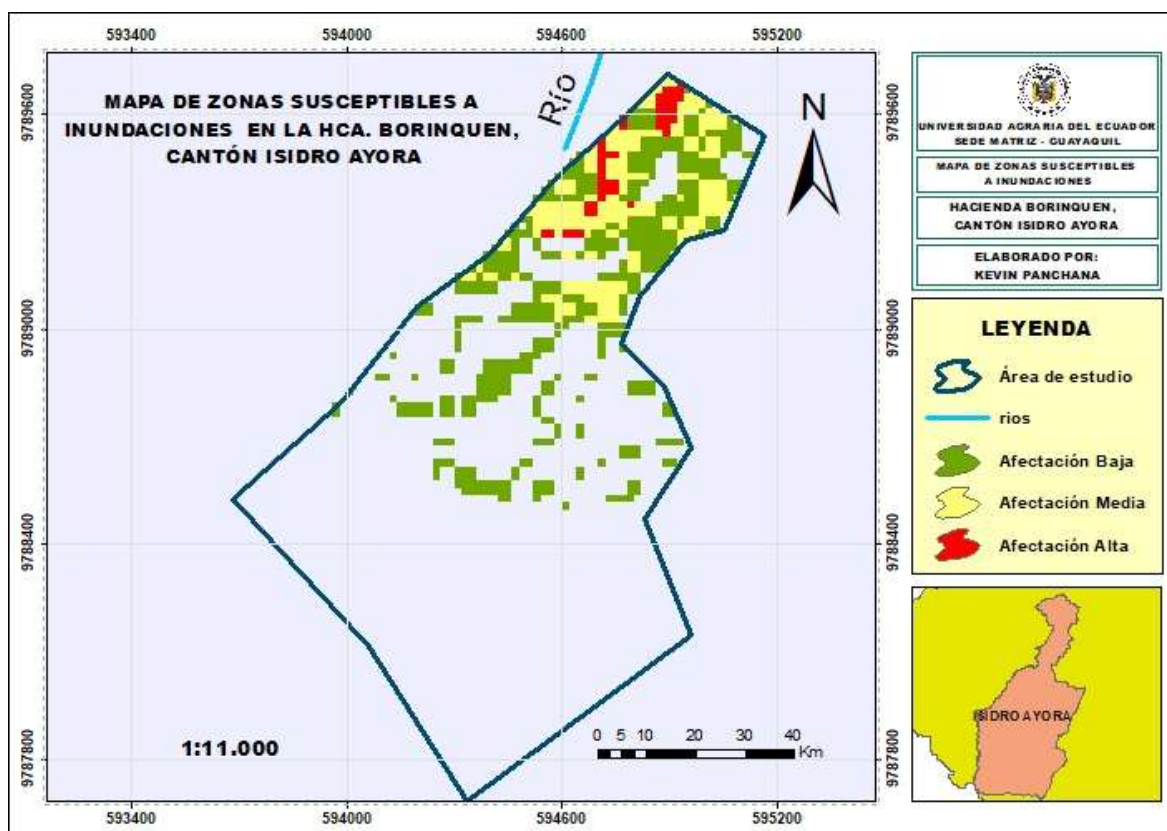
**Ponderación de valores**

Categoría de susceptibilidad	Grado de la susceptibilidad	Afectación (ha)	Representación grafica
1	Alta	1 ha	
2	Media	10 ha	
3	Baja	19 ha	

Elaborado por: el autor, 2024

**Figura 7.**

**Mapa temático de zonas susceptibles a inundaciones en hacienda Borinquen**



Elaborado por: el autor, 2024

## 5. DISCUSIÓN

En este estudio se determina la afectación del cultivo de maíz causada por encharcamiento y/o inundaciones, se identifica de manera clara presentan las plantas bajo estas condiciones. Se observan características distintivas como la coloración amarillenta, clorosis, crecimiento retardado, pudrición radicular, lo que evidencia una gran diferencia en comparación con las plantas ubicadas en zonas no afectadas por inundaciones. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Caicedo et al. (2019), quien en su investigación también reporta síntomas similares en maíces expuestos a condiciones de inundación, pero logra documentar otras características adicionales como la disminución en el rendimiento de la producción y en el tamaño de las mazorcas. También señala que el estrés hídrico severo, a una exposición prolongada de lámina de agua, provoca la muerte celular en las raíces, lo que le causa la muerte a la planta. Y destaca no exponer al cultivo a estas condiciones en un máximo de 12 horas debido a que afecta el rendimiento.

Mediante este estudio, se emplea tecnología de percepción remota y modelación geoespacial con Modelos Digitales de Elevación (DEM) para identificar y clasificar áreas susceptibles a inundaciones. Se realiza una reclasificación de estas áreas en grados de afectación alta, media y baja, y se analiza la distancia euclidiana a los ríos para mejorar la precisión de la identificación. Los resultados muestran que, al igual que en estudios anteriores realizado por Nina y Román, (2022), la cuenca del río Moquegua presenta niveles significativos de amenaza por deslizamientos e inundaciones, con grados de peligro que varían desde muy alto hasta bajo. El uso de sistemas de información geográfica (SIG) permite además cuantificar el deterioro de la cobertura vegetal en la cuenca entre 2013 y 2020, subrayando el impacto de las actividades humanas en la exacerbación de los riesgos.

En este estudio, se aplica tecnología de percepción remota con el uso de imágenes satelitales Landsat 8 para identificar zonas inundables en áreas productivas de maíz. El uso del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) permite detectar con precisión las fuentes de agua en el área de estudio, aquí se encontró una albarrada que su existencia fue confirmada mediante la observación en campo, lo que valida la efectividad de la metodología empleada.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Baltazar et al. (2021), quienes también utilizan imágenes Landsat 8 para identificar zonas inundadas en cultivos

de maíz. En su investigación, los índices espectrales de agua, como el MNDWI y el NDWI, resultan ser en gran parte efectivos para la detección de áreas afectadas. Además, en este estudio estiman las pérdidas económicas derivadas de estas inundaciones. Existe coherencia entre los resultados de ambos estudios reafirma la utilidad de la tecnología de percepción remota, y en particular de los índices espectrales, en la gestión de inundaciones en zonas agrícolas. Esto muestra la importancia de integrar herramientas de SIG y percepción remota en la planificación agrícola, con la finalidad de mitigar los efectos adversos de las inundaciones y optimizar la toma de decisiones.

Para este estudio se utiliza tecnología SIG para identificar y representar zonas susceptibles a inundaciones en cultivos de maíz, elaborando mapas temáticos que indican afectación alta, media y baja. Se combinan parámetros hidrológicos y morfométricos para determinar la intensidad de riesgos. Las áreas con mayor intensidad hidrológica se representan en rojo, mientras que las de menor intensidad se muestran en verde. Estos hallazgos son consistentes con el estudio de Loo et al. (2023), que también utilizó SIG para evaluar la susceptibilidad a inundaciones, confirmando la precisión de las técnicas empleadas en la identificación de áreas vulnerables.

Mediante el estudio se elaboró mapas temáticos generados con tecnología SIG para identificar y representar zonas susceptibles a inundaciones en cultivos de maíz. La metodología empleada permite una visualización clara de las áreas de riesgo, facilitando la implementación de medidas preventivas. Los resultados confirman la efectividad de los mapas temáticos en la identificación de zonas vulnerables y coinciden con las recomendaciones de Vargas et al. (2021), quienes destacan la importancia de una planificación adecuada y la creación de cartografía de riesgo para mitigar los impactos de las inundaciones. Su investigación resalta que una evaluación multiescalar y una planificación eficiente son esenciales para gestionar los riesgos de inundación.

En esta investigación se utiliza tecnología SIG e imágenes satelitales para representar las zonas más susceptibles mediante mapas temáticos. Similar al enfoque de Reyna et al. (2020), quienes identificaron áreas vulnerables a inundaciones en asentamientos urbanos en Portoviejo, este estudio clasifica las áreas agrícolas en alta, media y baja afectación. Los resultados destacan las zonas de mayor riesgo de inundación en los cultivos de maíz, proporcionando información

esencial para la gestión de riesgos y la planificación agrícola. Resalta la importancia de una planificación adecuada para mitigar los impactos de inundaciones en la producción agrícola, de manera coherente con los hallazgos sobre la necesidad de estrategias preventivas y de gestión de riesgos.

A partir del análisis realizado con las herramientas de sistema de información geográfica (SIG), se identificó de manera efectiva las áreas susceptibles a inundaciones, lo que lleva a aceptar la hipótesis planteada. El análisis de pendientes, la distancia a cuerpos de agua. permiten generar mapas temáticos que resaltan las áreas con mayor riesgo. Estos resultados confirman la eficacia de los SIG como herramienta fundamental para la gestión de riesgos.



## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

Este estudio permite identificar con precisión las zonas inundables en las áreas productivas de maíz en la hacienda Borinquen, cantón Isidro Ayora.

A partir de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La combinación de la metodología implementada en combinación con el uso de SIG ha demostrado ser altamente efectiva para la identificación de las áreas susceptibles a inundaciones. Los resultados obtenidos coinciden con las observaciones directa realizadas en campo, lo que valida la precisión y confiabilidad del enfoque implementado.

Las principales variables topográficas identificadas como influyentes en la susceptibilidad a inundaciones son la pendiente del terreno, la proximidad a cuerpos de agua, como ríos. Estas características geográficas presentan un mayor riesgo de inundación, afectando directamente el desarrollo del cultivo de maíz en sus etapas iniciales de crecimiento.

Las tecnologías de percepción remota, en particular el uso de imágenes satelitales y el índice NDWI, han sido gran parte esencial para la identificación de cuerpos de agua dentro de la zona de estudio. Estas herramientas ofrecen datos actualizados y de alta resolución, lo que facilita la toma de decisiones informadas para una gestión agrícola eficiente y una planificación estratégica del uso del suelo.

Los mapas temáticos generados en este estudio proporcionan una representación clara y detallada de las áreas o zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones. Estos mapas son herramientas valiosas que permite a los agricultores y autoridades realizar una planificación estratégica, tomando decisiones fundamentadas sobre la ubicación optimas de los cultivos

Esta identificación anticipada es fundamental para la implementación de medidas preventivas que reduzcan el impacto de las inundaciones en la producción de maíz.

### **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda continuar con el modelo de investigación, incorporando datos adicionales, como variables climáticas, integración de datos históricos sobre las inundaciones, para poder mejorar más la precisión de las áreas susceptibles a los eventos de inundaciones.

Se sugiere que se implemente medidas preventivas, desarrollar estrategias de mitigación. Esto puede incluir construcción de drenaje adecuado, el uso de variedades de maíz resistentes a inundaciones y establecer un sistema de monitoreo constante del cultivo en estas áreas con mayor riesgo a susceptibilidad.

Es recomendable la actualización constante de los mapas temáticos, con la finalidad de garantizar que la información se mantenga relevante y precisa, adaptándose a posibles cambios en las condiciones ambientales.

Se recomienda brindar formación a los agricultores sobre el uso de Sistema de Información Geográfica (SIG), la interpretación de los mapas temáticos con la finalidad de reducir los posibles riesgos a inundaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, J. (2019). *Desarrollo de la superficie modificadas por electroforesis para la germinación de semillas y crecimiento de plantas de maíz*. [Tesis de posgrado, Centro de Investigación y desarrollo Tecnológico en Electroquímica]. Repositorio Institucional. <https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/>
- Ardila, F., y Quintero, O. (2013). Aplicación de la teledetección y los sistemas de información geográfica en la interpretación de zonas inundables. caso de estudio: río soapaga, sector paz de río, boyacá. *Revista de Ciencia e Ingeniería Neogranadina de la Universidad Militar Nueva Granada*, 23(2), 55-76. <https://www.redalyc.org/>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (06 de 08 de 2014). Ley Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. *Registro Oficialo Suplemento 305 de 06-ago-2014*, 20. <https://www.regulacionagua.gob.ec/>
- Baltazar, R., Mastachi, C., Galindo, A., Hernández, M., y Becerril, R. (2021). Metodología para la estimación de pérdidas económicas de cultivos de maíz siniestrados por inundaciones usando teledetección. *Revista de Geografía Norte Grande*(79). <https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000200207>
- Burgos, V., y Salcedo, P. (2014). Modelo digitales de elevaciones: Tendencias, correcciones hidrológicas y nuevas fuentes de información. *Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Andino*, 14-16. <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2014/Eje3/3.10.pdf>
- Caballero, M., Córdova, L., y López, A. (16 de 10 de 2020). Validación empírica de la teoría multicéntrica del origen y diversidad del maíz en México. *Revista Fitotecnia mexicana*, 42(4). <https://www.scielo.org.mx/>
- Cabeza, P., Razo, E., y Cajas, R. (02 de 04 de 2022). Caracterización de las Pymes del Distrito Metropolitano de Quito, mediante el sistema de georeferenciación ArcGIS Pro. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2). <http://scielo.sld.cu/>
- Caicedo, O., Cadena, D., Galarza, E., y Solorzano, D. (2019). Permisibilidad del maíz (*Zea mays* L.) sometido a condiciones de inundación Babahoyo, Ecuador. *Revista científica y tecnológica UPSE (RCTU)*, 6(2), 5-8. <https://incyt.upse.edu.ec/ciencia/revistas/index.php/rctu/article/view/472/445>

- Calixto, L. (2017). Determinación de zonas susceptibles de inundación mediante el uso de herramientas SIG. 18-19. <https://ciaf.igac.gov.co/>
- Caviedes, M., Carvajal, F., y Zambrano, J. (2022). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *avances en ciencias e ingenierías ACI*, 4(1). <https://revistas.usfq.edu.ec/>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Artículo 389 [Sección novena, Gestión del riesgo]. *Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008*. [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)
- Corporación Financiera Nacional [CFN]. (Mayo de 2021). Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca. *Ficha sectorial cultivo de maíz*, 45. <https://www.cfn.fin.ec/>
- Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo de maíz* (Sorto, Marlon; Menjívar, Nelly; Reyes, Luis ed.). Proyecto de red de innovación agrícola. <https://repositorio.iica.int/>
- Esparza, J. (2019). Identificación y análisis de áreas inundables a partir de una metodología de integración de escalas espaciales. caso de estudio: La Plata, Buenos Aires. *Cuaderno urbano*, 27(27), 135-166. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30972/crn.27274122>
- Espinoza, E., y González, L. (2023). Análisis de riesgo por inundación del sector Naranjal de la parroquia Abdón Calderon de Portoviejo. *Polo del conocimiento*, 8(9), 195-217. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i9.6009>
- Findlay, M., Fraga, D., Guerrero, S., Ortiz, D., y Realpe, S. (2021). Maíz; el grano de oro. *Boletín informativo CEI*, 8(3), 144-147. <https://revistas.umariana.edu.co/>
- Fischer, G. (26 de 09 de 2021). El aumento de las inundaciones generado por el cambio climático afectará nuestros cultivos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(3), 1-5. <https://www.redalyc.org/>
- Gavilanes, J. (2021). *Influencia de varios tipos de preparación de suelo en la presencia de malezas y en la producción del maíz*. [Tesis de pregrado, Universidad Agraria del Ecuador]. Repositorio Institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/>

- González, A., Moreno, V., Sevillano, G., y Maldonado, E. (2011). Evaluación de tierras por su capacidad de uso Cantón Guayaquil. *Geoportal IGM*, 11-12. <https://www.geoportaligm.gob.ec/>
- Guillín, X., Cramigniani, J., Naranjo, J., y Zambrano, E. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de maíz en la zona norte de la provincia de Los Ríos. *Journal of business and entrepreneurial studies*, 4(2), 76-85. <https://journalbusinesses.com/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (12 de 2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la sierra ecuatoriana*. <https://repositorio.iniap.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2014). *Maíz duro*. Retrieved 2023, from <http://tecnologia.iniap.gob.ec/>
- Lázaro, L., Vega, E., y Lizarbe, J. (12 de 03 de 2020). Adaptación y eficiencia agronómica en el maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) en diferentes localidades de la costa central y norte del Perú. *Revista Boletín Redipe*, 9(11), 260-271. <https://doi.org/10.36260/rbr.v9i11.1129>
- Loor, A., Valencia, X., y Pacheco, H. (2023). Susceptibilidad a eventos por inundaciones en un sector del área urbana del Cantón Rocafuerte (Manabí - Ecuador): aproximación desde un enfoque multicriterio. *Revista UniRoja*, 8(5), 186-210. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i5>
- Machetti, I. (2019). El riesgo de inundación en la agricultura. *Revista digital consorsegueros*(11), 1-12. <https://www.consorseguerosdigital.com/>
- Mena, M., Scheffczyk, K., Urrutia, M., Huerta, B., y Walz, Y. (2021). Evaluación del riesgo de inundación en Ecuador. (*UNU-EHS*), 10. <https://acortar.link/itT5Ug>
- Moreano, G., Cajamarca, J., y Tenicota, A. (2019). Agricultura de Precisión: Preprocesamiento y Segmentación de Imágenes para obtención de una Ruta de Navegación Autónoma Terrestre. *Revista Politécnica*, 44(2), 43-50. <https://doi.org/10.33333/rp.vol44n2.05>
- Morote, A., y Olcina, J. (2022). ¿Cómo se explica el riesgo de inundaciones en la Geografía escolar? *Revista Cuatrimestral de Geografía*, 2022-3(XLII), 257-270. <https://doi.org/10.17811/er.42.2022.257-273>
- Muñoz, F. (2019). *Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad*. (J. Prado, y M. del Ambiente, Edits.) Lima, Perú.

- Nina, N., y Román, C. (2022). Zonas de vulnerabilidad y peligros ambientales en la cuenca del río Moquegua. *Ingeniería Investiga*, 4(e583), 7-19. <https://doi.org/10.47796/ing.v4i0.583>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2021). *Datos estadísticos*. <https://www.fao.org/faostat/>
- Radicelli, C., Pomboza, M., Villacrés, P., y Boder, E. (01 de 08 de 2019). Sistema de información geográfica y su aplicación en las ciencias sociales. *Revista Chakiñan*, 24-35. <https://doi.org/10.37135/chk.002.08.02>
- Reyna, A., Moreira, D., Bonilla, A., Pisco, J., y Macias, C. (2020). Asentamiento humanos en zonas susceptibles a riesgos por inundación y deslizamiento de la ciudad de Portoviejo. *Revista San Gregorio*, 4(43), 109-123. <https://doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1413>
- Roca, C. (2019). *Respuesta agronómica de tres híbridos de maíz sembrados a dos distancias en la parroquia la Esperanza*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Quevedo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.uteq.edu.ec/>
- Saavedra, G. (2021). Maíz Dulce (*Zea mays* convar. *saccharata*). *Boletín Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA/ MINISTERIO DE AGRICULTURA*, 265-267. <https://biblioteca.inia.cl/>
- Vargas, J., Olcina, J., y Paneque, P. (2021). Cartografía de riesgo de inundación en la planificación territorial para la gestión del riesgo de desastre. *EURE Santiago*, 48(144), 1-25. <https://doi.org/10.7764/eure.48.144.10>
- Von, A. (2016). Los sistemas de información geográficas. *Geoenseñanzas*, 11(1), 107 - 116. Retrieved 2023, from <https://www.redalyc.org/>

ANEXOS

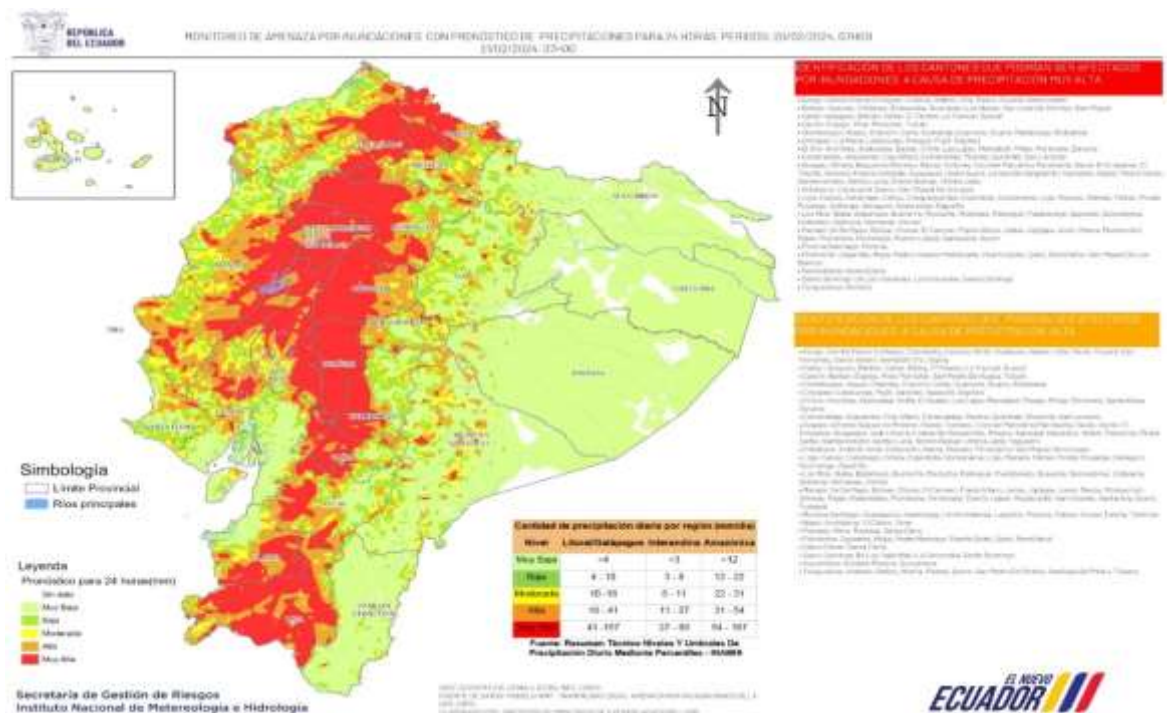
Figura 8.  
**Ubicación geográfica de hacienda Borinquen**



Fuente: Google Earth, 2024

Elaborado por: El autor, 2024

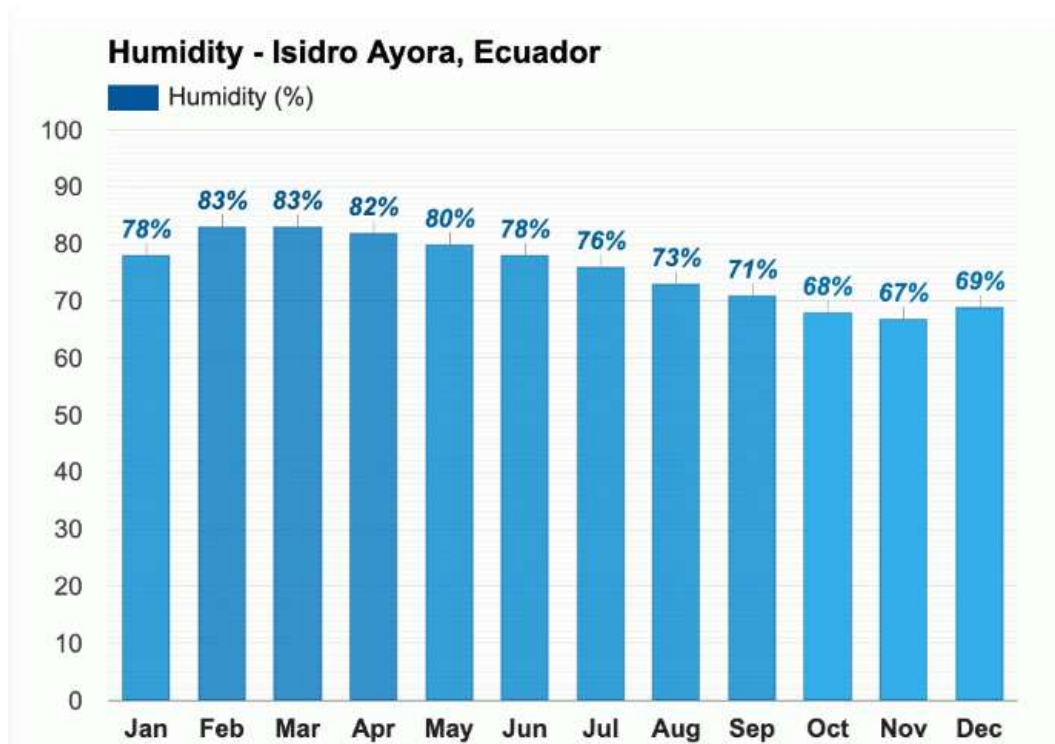
Figura 9.  
**Mapa de amenaza de inundaciones bajo pronóstico de precipitaciones**



Fuente: Secretaría de Gestión de Riesgo, 2024

Elaborado por: el Autor, 2024

Figura 10.

*Humedad media Isidro Ayora, Ecuador*

Fuente: Weather atlas, 2024

Elaborado por: El autor, 2024

Figura 11.

*Precipitación del cantón Isidro Ayora, Ecuador*

Fuente: Weather atlas, 2024

Elaborado por: El autor, 2024



**Tabla 8.**  
**Coordenadas del cultivo en hacienda Borinquen**

PUNTOS	Coordenadas (X)	Coordenadas (Y)
1	594894.00 m E	9789711.00 m S
2	595161.00 m E	9789536.00 m S
3	595052.00 m E	9789272.00 m S
4	594947.00 m E	9789247.00 m S
5	594816.00 m E	9789089.00 m S
6	594766.00 m E	9788961.00 m S
7	594884.00 m E	9788832.00 m S
8	594958.00 m E	9788668.00 m S
9	594831.00 m E	9788467.00 m S
10	594959.00 m E	9788145.00 m S
11	594334.00 m E	9787681.00 m S
12	594045.00 m E	9788132.00 m S
13	593694.00 m E	9788523.00 m S
14	594199.00 m E	9789041.00 m S
15	594632.00 m E	9789467.00 m S

Elaborado por: El autor, 2024

**Figura 12.**

***Amarillamiento en hojas del cultivo de maíz***



Elaborado por: El autor, 2024

**Figura 13.**

***Crecimiento lento causado por escorrentías superficiales***



**Elaborado por: El autor, 2024**

**Figura 14.**

***Cultivo en óptimas condiciones***



**Elaborado por: El autor, 2024**



**Figura 15.**

***Visita del tutor en la hacienda Borinquen***



**Elaborado por: El autor, 2024**

**Figura 16.**

***Validación en campo***



**Elaborado por: El autor, 2024**

**Figura 17.**

***Cosecha de cultivo sin afectación***



**Elaborado por: El autor, 2024**

**Figura 18.**

***Resultados obtenidos de zonas propensa a inundaciones***



**Elaborado por: El autor, 2024**



