

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

**“Generación y validación del mapa de áreas aptas para el cultivo
de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi”**

Omar Roberto Valverde Arias

Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Máster
en Sistemas de Información Geográfica

Quito, diciembre de 2013

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Postgrados

HOJA DE APROBACION DE TESIS

“Generación y validación del mapa de áreas aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi”

Omar Roberto Valverde Arias

Richard Resl, Ph.D.
Director de Tesis

Pablo Cabrera Barona, Ms.
Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.D.
Director de la Maestría en Sistemas
de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.
Decana del Colegio de Ciencias
Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados

Quito, diciembre de 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Omar Roberto Valverde Arias

C. I.: 171186056-7

Quito, diciembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos especiales al Instituto Espacial Ecuatoriano IEE por la información proporcionada para la realización del presente estudio, a la Universidad San Francisco de Quito, al personal de UNIGIS en especial al Director de tesis Ph.Dc. Richard Resl, a los tutores técnico y administrativo Pablo Cabrera Barona y Gabriela Ramón respectivamente, por su oportuna colaboración para la culminación exitosa del presente trabajo.

Resumen

*El uso inadecuado de las tierras tendrá como consecuencia baja productividad y pérdidas económicas, debido a la obtención de rendimientos marginales de los cultivos que además pone en peligro el ambiente y puede ocasionar la pérdida total del recurso. Una demanda cada vez más intensa de alimentos solo puede ser satisfecha sosteniblemente en el tiempo con el uso racional de los recursos, para lo cual el uso de las tecnologías modernas de sistemas de información geográfica (SIG) y agricultura de precisión constituyen herramientas fundamentales para el desarrollo y ordenamiento territorial agrícola. En el presente estudio se muestra una evaluación de tierras para determinar las áreas más aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).*

*Se utilizó el Sistema FAO (Van Ranst, 1991), para la evaluación de tierras ya que este propone una clasificación por el uso específico que le podemos dar a esta tierra, es decir su aptitud para ser utilizada con un cultivo determinado, para lo cual considera la calificación cualitativa y cuantitativa de las diferentes características climáticas y de suelo, en base a los requerimientos del cultivo para el cual se realizó la evaluación de tierras. Se obtuvo los siguientes resultados: la clase **N2** (no apta para el cultivo de maíz) con 50.392,64 ha que equivale al 67,8 % de la superficie del cantón, la clase **S3** (marginamente apto) con 21.125,43 ha que es 28,41 % y la clase **S2** (moderadamente apto) con 574,87 ha que es el 0,77 %. La limitante que condiciona a todo el cantón es la precipitación por lo que la clase N2 no apta para el cultivo de maíz asociada con esta limitante se distribuye desde el centro al sur y al oeste del cantón, mientras que aparece también intercalada al norte asociado con las fuertes pendientes influenciadas por la cordillera costera ubicada en este sector. En la parte norte y hacia el límite este del cantón hay mayor precipitación, por lo que las limitantes asociadas a la clase S3 ubicadas en estas zonas tienen que ver con las pendientes moderadas de la cordillera costera. Las escasas zonas S2 ubicadas al centro norte y un poco al este del cantón, son áreas relativamente planas que no tienen otras limitantes de suelo ni pendiente, sino que únicamente el demérito en su grado de aptitud es por no tener la suficiente precipitación que requiere el cultivo de maíz en secano para ser clase S1.*

Para la validación de este mapa se evaluó la coincidencia o no coincidencia de las unidades obtenidas por el modelo, con las obtenidas en campo, tanto a nivel de clase como subclase. Se obtuvo una frecuencia de coincidencia f_i de 0,96 y un rango de confianza p de 0,93 a 0,99, con una confianza del 95 %, es decir que el 95 % de las veces que muestreemos unidades en campo y las comparemos con sus correspondientes en el mapa de aptitud, se obtendrá coincidencias del 92 al 99 % entre las clases de uso de la tierra generadas por el modelo con las observadas en campo. Lo cual nos indica que el mapa de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz se ajusta a la realidad.

Abstract

*Improper land use will result in low productivity and economic losses due to obtaining marginal crop yields, further endangering the environment and can cause total loss of the resource. An increasingly intense food demand can only be met sustainably in time with the rational use of resources, for which the use of modern technologies of geographic information systems (GIS) and precision agriculture are fundamental tools for development and agricultural land use. In the present study it shows a land assessment to determine the most suitable areas for the maize (*Zea mays* L.) crop.*

*The FAO methodology was used (Van Ranst, 1991) to land use evaluation, as it proposes a classification for a specific land use. That methodology assesses the land suitability to be used with a particular crop. It is then necessary to qualify physic and chemic soil characteristics, as well as climatic conditions of land, after what a comparison is made between results and maize crop requirements. Following are the present project's results: **N2** class (not suitable maize crop) with 50.392,64 ha that is 67,8 % of Montecristi surface, **S3** class (marginally suitable) with 21.125,43 ha that is 28,41 %, and **S2** class (moderately suitable) with 574,87 ha that is 0,77 %. Precipitation being the main limitation that conditions the whole canton, the N2 class not suitable to maize crop, is distributed from the center to the south and west side of the canton. The same also appears intercalated in the north, due to the strong slopes of the coastal range. Over the north area and towards the east border of the canton, there is more precipitation. Thus the limitation of S3 class in this area is associated to moderately slope of the coastal range. A few S2 areas located at the north-central and towards the east side of the canton, are relatively flat areas that do not have other limitations of soil neither slope. The only demerit in its degree suitability is not to have enough precipitation that requires rainfed maize crop to be S1 class.*

For map validation, it was assessed the match or mismatch between the units obtained by the model with that obtained in the field, both as subclass and class level. It obtained coincidence frequency f_i of 0,95 and a range of confidence p from 0,92 to 0,99, with a confidence of 95 %, ie 95 % of the time that it samples field units and compares with their counterparts in the suitability land use map, it will obtain matches from 92 to 99 % between classes of land use generated by the model with those observed in the field. This indicates that, the land suitability map for maize crop conforms to reality.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	6
Abstract	7
I. INTRODUCCIÓN	12
1. Objetivos	15
1.1. Generales	15
1.2. Específicos.....	15
2. Hipótesis	16
II. REVISIÓN DE LITERATURA	17
1. Evaluación de Tierras	17
2. Modelos de Evaluación de tierras.....	17
2.1. Modelos empíricos.....	18
2.1.1. Cualitativos	18
2.1.2. Paramétricos.....	19
2.1.3. Modelos mecanicistas o de simulación dinámica.....	19
3. Evaluación y validación del Mapa (Guisan y Zimmermann, 2000).....	19
3.1. Validación empírica de Modelos.....	20
3.2. Tipos de pruebas de validación	21
4. Estado de la cuestión: definiciones y conceptos	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
1. Método de evaluación de tierras para cultivos específicos	26
1.1. Clasificación de aptitud de uso de la tierra (FAO, 1976)	26
1.2. Niveles de Clasificación de aptitud de tierras	26
1.2.1. Ordenes de aptitud de tierras	26
1.2.2. Clases de aptitud de tierras.....	27
1.2.3. Subclases de aptitud de tierras	27
1.2.4. Unidades de aptitud de tierras.....	28
1.3. Procedimiento de la evaluación de tierras	28
1.3.1. Fase 1: Recolección de las características o cualidades actuales de la tierra, necesarias para la evaluación	28
1.3.2. Fase 2: Determinación de los requerimientos del tipo de utilización de la tierra (cultivo de maíz).....	45
1.3.3. Fase 3: Evaluación del suelo con base a los requerimientos del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	48
1.4. Generación del mapa	51
1.5. Significación de clases de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz.	51
1.5.1. Muy apto (S1)	51
1.5.2. Moderadamente apto (S2).....	52
1.5.3. Marginalmente apto (S3)	52
1.5.4. Actualmente no apto pero potencialmente apto (N1).....	53
1.5.5. No apto (N2)	53
2. Validación.....	53
2.1. Procedimiento de validación	54
2.1.1. Evaluación del modelo	54
2.1.2. Muestreo	54
a. Estrategia de muestreo	54
2.1.3. Calificación	57
2.1.4. Evaluación de coincidencia	57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
1. Resultados de la evaluación de suelos	60
1.1. Orden S apto para el cultivo de maíz	62
1.1.1. Clase S1	62

1.1.2.	Clase S2	62
1.1.3.	Clase S3	63
1.2.	No apta para el cultivo de maíz.....	65
1.2.1.	Clase N1	65
1.2.2.	Clase N2	65
2.	Principales limitaciones que afectan al cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el cantón	
	Montecristi.....	67
2.1.	Clima	67
2.2.	Topografía	71
2.3.	Suelo	72
2.4.	Fertilidad	73
2.5.	Litología (IEE 1, 2011)	76
3.	Resultados obtenidos de la validación del mapa	80
V.	CONCLUSIONES.....	84
VI.	RECOMENDACIONES	86
VII.	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA	88
VIII.	ANEXOS	91

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1. Ejemplo de matriz de calificación de las clases de limitaciones con las diferentes características del suelo (Van Ranst, 1991)	49
Cuadro 3.2. Requerimientos climáticos y de suelo del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) variedades: INIAP-528, INIAP-540, INIAP-542 y el híbrido INIAP-H-601	50
Cuadro 3.3. Determinaciones realizadas en el Laboratorio de Suelos	56
Cuadro 3.4. Superficie y porcentaje de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el cantón Montecristi.	61
Cuadro 3.5. Superficie y porcentaje de la Clase S2 en el cantón Montecristi.	62
Cuadro 3.6. Superficie y porcentaje de la Clase S3 en el cantón Montecristi	64
Cuadro 3.7. Superficie y porcentaje de la Clase N2 en el cantón Montecristi	66
Cuadro 3.8. Tabla de contingencia de las clases observadas y las clases predichas	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa base del cantón Montecristi (IEE 1, 2011)	30
Figura 3.2. Unidades ambientales en el cantón Montecristi (IEE 1, 2011)	31
Figura 3.3. Unidades morfológicas en el cantón Montecristi (IEE 1, 2011)	35
Figura 3.4. Mapa geoedafológico (Órdenes de suelo) del cantón Montecristi (IEE 2, 2011)	39
Figura 3.5. Mapa de capacidad de uso de la tierra de Montecristi (IEE 3, 2011)	42
Figura 3.6. Mapa de conflictos de uso del suelo (IEE 4, 2011).....	43
Figura 3.7. Figura de regímenes de humedad del suelo en el cantón Montecristi	44
Figura 3.8. Distribución espacial de los sitios de muestreo en el cantón Montecristi	55
Figura 3.9. Porcentaje aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el cantón Montecristi.	60
Figura 3.10. Representación geográfica de las clases de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	61
Figura 3.11. Mapa de isoyetas del cantón Montecristi.....	67
Figura 3.12. Áreas que se encuentran actualmente cultivadas con maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el cantón Montecristi	68
Figura 3.13. Áreas potencialmente regables en el cantón Montecristi	69
Figura 3.14. Mapa de pendientes del cantón Montecristi	71
Figura 3.15. Áreas con graves problemas por profundidad efectiva en el cantón Montecristi	73
Figura 3.16. Contenido de materia orgánica en el cantón Montecristi	74
Figura 3.17. Áreas de tierra no aptas para el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el cantón Montecristi por el pH	75
Figura 3.18. Litología del cantón Montecristi	76

I. INTRODUCCIÓN

El cantón Montecristi está ubicado en la provincia de Manabí y se encuentra en la región Costa del Ecuador, tiene una superficie de 743,67 km² y está dedicado principalmente a la agricultura, la pesca y el turismo.

El maíz duro (*Zea mays* L.) constituye uno de los cultivos de mayor importancia socioeconómica en el Ecuador por su gran aporte en la seguridad alimentaria, ya sea en forma directa en la alimentación humana o por su gran utilización agroindustrial para la fabricación de alimentos balanceados para consumo animal. En Manabí el maíz es sembrado principalmente por pequeños y medianos productores en una superficie estimada de 100.000 ha anuales, existiendo 22.610 unidades de producción agropecuaria con un promedio de 4,42 ha por unidad. Los rendimientos promedio oscilan entre 1,2 y 1,6 t/ha (INIAP, 2008). En el cantón Montecristi el principal cultivo es el maíz con 6.541,21 ha, cultivado solo o en asociación con fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) también se cultiva en mucha menor proporción cultivos como: cabuya (*Agave sisalana*), cebolla perla (*Allium cepa*), cocotero (*Cocos nucifera* L.), sandía (*Citrullus lanatus*), tuna (*Opuntia ficus-indica*), entre otros con una superficie de 208,11 ha, además es también importante el pasto cultivado con 1.235,61 ha y las granjas avícolas y camaroneras con 43,74 ha y 416,52 ha respectivamente (IEE 4, 2011).

La falta de planificación, programas y proyectos de ordenación y desarrollo territorial han contribuido a cierto grado de desorganización urbanística, agropecuaria y paisajística, en este y otros cantones del Ecuador.

Por lo que desde el año 2009, el Gobierno Nacional del Ecuador ha gestionado el proyecto “Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional a escala 1: 25.000”, ejecutado por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) antes Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). En el cual se ha levantado información geopedológica,

climática y socioeconómica de varios cantones del Ecuador incluido el cantón Montecristi.

Una fase sucesiva al levantamiento de información es la de dar un uso práctico a esta información, y que esta nueva temática cartográfica sirva de base para dar soluciones a los problemas particulares de cada región con un enfoque de desarrollo territorial, por lo que el presente estudio constituirá una fase de un plan de ordenamiento territorial a nivel agrícola. Ya que como menciona (Bocco *et al.*, 2000), la planificación del uso de la tierra y la recopilación de la información necesaria para realizar esta planificación, son cruciales para los países en desarrollo. Donde una gran cantidad de la población continúa a base de actividades económicas primarias para vivir, y esto ejerce una presión muy fuerte sobre bosques, agua y suelos; por lo que el manejo racional de los recursos es indispensable para utilizarlos sosteniblemente y conservarlos para el futuro.

Hasta mediados del siglo pasado, se hacía notar que el mayor problema en la utilización de los estudios de suelos, radicaba en la falta de interpretaciones prácticas. Sin embargo, a partir de entonces se produjo un desarrollo importante de las evaluaciones de suelos con fines muy diversos. La aplicación de los conocimientos matemáticos e informáticos han sido una de las principales razones de dicho progreso; permitiendo el desarrollo de complejos sistemas cuantitativos de evaluación, así como la aplicación automática de los mismos (De la Rosa, 2008).

La creciente demanda de intensificación de las áreas cultivadas y de abrir nuevas áreas aptas para cultivos, solo puede satisfacerse sin dañar el medio ambiente; clasificando la tierra de acuerdo a su aptitud para los diferentes tipos de uso (Asefa, 2010), es decir conocer las condiciones potenciales naturales de la tierra y compararlos con los requerimientos para un uso determinado, para el cual lo estamos evaluando, para así saber si es adecuado darle ese uso o si estamos poniendo una presión excesiva sobre estos recursos, lo que tendrá como consecuencia la baja productividad y la eventual pérdida del recurso.

Por esto como menciona De la Rosa (2008), la continuación de los estudios de evaluación, es la identificación y comparación de los usos actuales y potenciales del territorio en diferentes tipos de suelos, tomando decisiones sobre los tipos de usos e implementando actividades y programas de desarrollo, es lo que se conoce como planificación del uso del suelo. Se trata generalmente de un proceso de optimización para identificar los tipos de uso más aptos para cada clase de suelo. Este proceso de planificación u ordenación de usos del territorio es función de los gobiernos o administraciones a nivel regional pero siempre bajo la asesoría de técnicos especializados y enfocado a los usuarios a nivel local, en este caso los agricultores.

La evaluación de tierras es un paso importante en el proceso de planificación de uso de esta, donde los recursos son limitados. El uso programado de las tierras determina una máxima productividad, ya que la de la tierra es evaluada para un uso determinado y su aptitud versus sus posibles usos será específica. Una verdadera agricultura sostenible es cuando el uso de la tierra es basado en su clasificación de aptitud y utilizada adecuadamente sin poner en riesgo los recursos (Asefa, 2010).

La necesidad de un óptimo uso de la tierra no ha tenido nunca mayor importancia que en el presente, donde el rápido crecimiento de la población y la expansión urbana están haciendo de la tierra para la agricultura un bien relativamente escaso. El incremento de la demanda de intensificación de los cultivos existentes y la apertura de nuevas áreas de tierra, solo puede ser satisfecho sin perjuicio al ambiente, si la tierra es clasificada de acuerdo a su aptitud para los diferentes tipos de uso (FAO, 1983).

La evaluación de tierras necesita combinar diferentes capas de información para definir las unidades de mapeo de tierra con la combinación de clima, suelo, topografía y otros atributos de la tierra relacionados. Estas operaciones entre diferentes capas temáticas funcionan más eficiente y convenientemente en un ambiente de sistemas de información geográfico (SIG), por lo que es ampliamente

utilizado como una herramienta efectiva para la evaluación de tierras (Asefa, 2010).

Una vez generado un modelo es necesario evaluar su funcionamiento, para lo cual se debe validarlo y comprobar estadísticamente que las salidas generadas con el modelo son iguales a la realidad medida en campo

La validación de un modelo se puede definir como la demostración de su exactitud para una aplicación concreta. En este sentido, la exactitud es la ausencia de error sistemático y aleatorio. Todos los modelos son, por su propia naturaleza, representaciones incompletas del sistema del que pretenden ser modelo, pero a pesar de esta limitación pueden ser útiles. Pero hay que confirmar la validez del modelo (es decir, que se demuestra que es digno de crédito; admisible) y verificación del modelo (es decir, que se demuestra que es verdadero) (FAO, 2009).

1. Objetivos

1.1. Generales

- Contribuir al desarrollo y ordenamiento territorial del sector agrícola del cantón Montecristi.
- Presentar el estudio del cantón Montecristi como una fase de un plan piloto de ordenamiento y desarrollo territorial, que podrá ser utilizado para el resto de cantones del Ecuador.

1.2. Específicos

- Realizar la evaluación de tierras del cantón Montecristi por método ZAE (zonificación agro-ecológica) propuesto por la FAO, para determinar áreas potencialmente aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en dicho cantón.

- Llevar a cabo la zonificación de posibles áreas aptas para el cultivo de maíz con el supuesto de contar con riego, es decir que su única limitación sea la falta de agua.
- Determinar estadísticamente el grado de coincidencia entre el mapa de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi y las observaciones de campo.
- Establecer si el mapa de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi representa la realidad.

2. Hipótesis

Las de clases de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), si corresponden a las clases aptitud de uso de la tierra obtenidas en la calificación en campo.

Las de clases aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), no corresponden a las clases aptitud de uso de la tierra obtenidas en la calificación en campo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Evaluación de Tierras

La evaluación de tierras, es una valoración del desempeño de la tierra cuando es usada para un propósito específico. Como tal provee una base racional para la toma de decisiones de uso de la tierra, basadas en el análisis de la relación entre el uso de la tierra y la tierra, dando estimaciones de los insumos necesarios y de las salidas proyectadas (FAO, 1983).

La evaluación de suelos y las tierras es un sistema de clasificación que califica y en su caso cuantifica el mejor uso para una porción dada de territorio, evidenciando las limitaciones existentes para un tipo de uso más o menos específico (Constantini, 2009).

Es el proceso de valoración del desempeño de la tierra cuando es utilizada para un propósito específico, incluyendo la ejecución e interpretación de estudios de litologías, geoformas, suelos, vegetación, clima y otros aspectos de la tierra para identificar y hacer una comparación de tipos prometedores de uso de la tierra en términos aplicables con los objetivos de la evaluación (FAO, 1985).

El proceso de evaluación, es independiente de la escala de los estudios básicos, siempre que se facilite toda la información necesaria para aplicar dichos sistemas. No obstante, según el tipo de usuario a quien vayan dirigidos estos estudios pueden ser realizados a escala regional o generalizada (de mayor uso a nivel político) y escala local o detallada (de mayor uso a nivel técnico y de agricultor) (De La Rosa, 2008).

2. Modelos de Evaluación de tierras

La mejor manera de analizar y sobre todo sintetizar el conocimiento de un sistema natural complejo, es la modelización de dicho sistema, siendo un

modelo una representación simplificada de la realidad con el que se pueden obtener resultados sin tener que llevar a cabo experimentos reales (De la Rosa, 2008). Estos modelos se clasifican en modelos empíricos y modelos mecanicistas o de simulación dinámica.

En el Ecuador los sistemas de evaluación que han sido utilizados principalmente son el sistema americano de la USDA-LCC desarrollado por Klingebiel y Montgomery (1961) y el sistema Bureau of Reclamation con fines de riego, que considera seis clases, los cuales en algunos casos son aplicados textualmente y en otros, se han realizado ciertas adaptaciones (CLIRSEN *et al.*, 1990).

De acuerdo a la escala de trabajo 1: 25.000, el objetivo de estos estudios es el de servir de base para la realización de planes, proyectos de prefactibilidad y de desarrollo, en zonas determinadas previamente por los estudios de reconocimiento. En este nivel de estudio la categoría de la clasificación de tierras a utilizarse es la subclase (CLIRSEN *et al.*, 1990).

2.1. Modelos empíricos

Establece las relaciones basadas en la experiencia o el conocimiento del sistema, los cuales incluyen: Métodos cualitativos, métodos estadísticos, sistemas paramétricos, modelos expertos, modelos de lógica difusa, modelos en red neuronal. Dentro de estos modelos los más utilizados son:

2.1.1. Cualitativos

Pueden considerarse como simples descripciones subjetivas sobre la aptitud de los suelos para determinados usos, agrupando los diferentes tipos de suelos en ciertas clases o categorías de aptitud. Estos sistemas de evaluación de suelos dependen en gran medida de la experiencia y del conocimiento intuitivo, constituyendo verdaderos sistemas empíricos que no ofrecen la menor expresión cuantitativa (De la Rosa, 2008).

En otros estudios cualitativos se logra una cierta cuantificación mediante la aplicación de la norma de la máxima limitación, según la cual la característica más restrictiva determina el grado de aptitud de los suelos. Para ello se asume el conocimiento sobre los requerimientos óptimos de los usos y sobre las consecuencias de las desviaciones de estos óptimos (De la Rosa, 2008).

2.1.2. Paramétricos

Consisten en métodos semi-cuantitativos o aritméticos de evaluación de suelos que consideran los efectos numéricos inferidos de varias características sobre el comportamiento potencial de un tipo de uso del suelo. Los sistemas paramétricos tienen en cuenta la acción directa de las características o factores más significativos y contabilizan a su vez, la interacción entre dichos factores mediante una simple multiplicación o suma de los índices correspondientes a cada factor (De la Rosa, 2008).

2.1.3. Modelos mecanicistas o de simulación dinámica

Estos modelos describen de forma matemática los procesos biofísicos que tienen lugar en los ecosistemas agrícolas, tales como el crecimiento del cultivo, balance hídrico del suelo, movimiento de nutrientes, o erosión hídrica. Estos modelos se aplican en la evaluación de suelos para cuantificar la producción de un cultivo, los efectos de la sequía, la pérdida de nutrientes o del suelo mismo, bajo las más diversas opciones de uso y manejo. La mayor limitación para la utilización de estos modelos es la necesidad de un gran número de datos de entrada y, por consiguiente, la dificultad de calibrarlos y validarlos en nuevos espacios agroecológicos (De la Rosa, 2008).

3. Evaluación y validación del Mapa (Guisan y Zimmermann, 2000).

Validación es el proceso de comprobar que los resultados aportados por el modelo para las variables de salida y de estado no son muy diferentes a los

medidos en la realidad. Existen diferentes índices que permiten cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo (Sarria y Palazón 2008).

Una vez que se ha desarrollado el modelo es necesario saber si sus salidas o predicciones (mapa), corresponden con la realidad observada en campo, etapa a la que se le conoce como validación del modelo, la misma que es llamada evaluación de la precisión en estudios por sensores remotos. Aunque la validación generalmente implica también un análisis lógico del desarrollo y funcionamiento del modelo que generó el mapa, lo que está incluido en la formulación teórica del modelo. Por lo que al análisis del éxito de la predicción del modelo también se lo puede llamar evaluación.

La evaluación o validación está relacionada con la medición del ajuste del modelo, lo cual depende del propósito específico del proyecto y del dominio en el cual el modelo es supuestamente aplicable. Para el caso del presente estudio se quiere estimar la probabilidad de la presencia o ausencia de una entidad o unidad modelada en determinado sitio del mapa generado.

3.1. Validación empírica de Modelos

Los modeladores generalmente aceptan que el proceso de crear un modelo incluye la etapa de validación. El significado de la validación aquí es una evaluación de que la estructura del modelo o sus datos de salida son suficientemente cercanos a los datos observados de un sistema real. El relativo énfasis en la estructura del modelo o de sus salidas depende si el modelo es primeramente para explorar e incrementar el entendimiento del funcionamiento del sistema o para hacer predicciones que replacen las observaciones del sistema (Mitchell, 1996).

La comparación de las predicciones del modelo con las observaciones en el mundo real, junto con una valoración del desempeño del modelo es una validación empírica. Este es solo una parte del todo el proceso de validación

pero una importante parte para los modelos que van a ser aplicados: donde las predicciones son usadas en lugar de las mediciones actuales en el sistema real, que puede ser también más costoso y difícil de realizar (Guisan y Zimmermann, 2000).

Un test estadístico estándar o un método de validación empírica pueden pretender ser objetivos si todos los individuos que usen el mismo procedimiento pudieran alcanzar la misma conclusión de un mismo set de datos. La conclusión no debería depender del conocimiento o el sesgo de cada individuo sino en cosas externas al individuo. Para un test estadístico, el mismo procedimiento significa que este está de acuerdo con la fórmula para calcular esta estadística de prueba y que los valores críticos son para los umbrales de significación dados. Hay un acuerdo implícito en la teoría subyacente del test (probabilidad, funciones de distribución) y allí debe estar explícito un acuerdo de que la suposición para el test es satisfecha por los datos. Es en esta área que la experiencia individual y las preferencias pueden producir diferentes resultados, porque una persona puede aceptar, por ejemplo más heterogeneidad o variación que otra quien podría considerar una transformación necesaria. Hay guías para esto, pero pocas reglas rígidas, entonces cada caso debería ser apoyado por el argumento tanto como sea posible. Similarmente por un método de validación empírica un acuerdo es necesario sobre el criterio para ser utilizado. Estos deberían estar declarados explícitamente y justificados con referencia al propósito del modelo. Las opiniones pueden diferir sobre el peso ligado a los argumentos de apoyo, pero hay mucho menos espacio para el sesgo personal, especialmente el sesgo oculto, que es donde se encuentra la subjetividad (Mitchell, 1996).

3.2. Tipos de pruebas de validación

Después de la estimación de los parámetros conviene efectuar un conjunto de pruebas de validación de los resultados obtenidos. Existen dos tipos de pruebas las primeras consisten en la realización de comprobaciones de la calidad de la información muestral utilizada, del ajuste de dicha información al

modelo teórico subyacente y la estabilidad de los datos frente a la estructura que debió generarlos en relación con el modelo especificado. Así mismo, es conveniente señalar las posibles divergencias, si las hubiere, en relación con las hipótesis mantenidas y que definen lo que hemos venido a calificar como modelo de regresión estándar.

Esté método de validación no puede ser utilizado en el presente trabajo ya que los datos de salida del modelo en este caso un mapa con unidades de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz, son unidades con una característica cualitativa de aptitud (aptas o no aptas) y no unidades cuantitativas que pueden ser evaluadas estadísticamente comparando sus medias o por el coeficiente de correlación.

Si existen discrepancias en el resultado de estas pruebas con respecto a las hipótesis iniciales, tendremos indicios de una especificación incorrecta del modelo. En consecuencia se procederá a revisar su construcción formal, los datos utilizados para la inferencia o los procedimientos de estimación y contraste de las hipótesis. Este proceso cíclico de revisión, re-especificación y nueva validación concluye en el punto en el que convenimos que el modelo especificado esta corroborado por los datos.

El segundo tipo de pruebas de validación consiste en la comparación del modelo estimado con otros posibles modelos. Estos modelos alternativos pueden incluir más, o menos variables explicativas que las utilizadas hasta el momento. También cabe la posibilidad de realizar comparaciones con modelos diferentes tanto por la forma funcional especificada como por las variables utilizadas como predeterminadas. En cualquier caso se trata de señalar las pautas que nos permitan aproximarnos, en la medida de lo posible, a diferencias que garanticen la adecuación de los datos al modelo subyacente desconocido.

Es importante señalar también que algunos modelos no se pueden validar plenamente, por diferentes motivos, pero es posible validar componentes o

módulos del modelo de manera individual. A continuación se presentan cuatro aspectos importantes asociados con la validación de modelos según FAO, 2004:

La **validación conceptual** se refiere a la pregunta de si el modelo representa con exactitud el sistema que se está estudiando. Habitualmente la validación conceptual es en gran medida cualitativa y la mejor manera de comprobar una es cotejarla con la opinión de expertos con conocimientos científicos diferentes. Los conceptos relativos a la creación de modelos que se pueden encontrar en la bibliografía sobre un tema en particular, son un conjunto mínimo de postulados que representan la opinión por consenso de un grupo amplio de expertos en el tema que contribuyen a generar estas directrices. Una parte importante en la evaluación del mapa en el presente trabajo fue la revisión del modelo en base a la bibliografía de referencia, es decir si los parámetros calificados y su influencia en la determinación de las unidades de aptitud son las correctas, así como la metodología misma de evaluación de tierras.

La **validación de algoritmos** es la traducción de los conceptos del modelo en fórmulas matemáticas. Un método muy válido para evaluar los efectos de procedimientos numéricos es comparar los resultados de distintos métodos utilizados para estimar la incertidumbre de un parámetro, como la superposición de muestras de parámetros obtenidas por los procedimientos de Montecarlo o de replicación con intervalos de confianza basados en la verosimilitud.

La **validación de códigos informáticos** se refiere a la aplicación de fórmulas matemáticas en el lenguaje informático. Los puntos específicos que requieren atención son los posibles efectos de la precisión de la máquina y los factores informáticos específicos en la obtención del modelo.

La **validación funcional** es la verificación del modelo frente a observaciones obtenidas de manera independiente. La evaluación ideal consiste en obtener los datos pertinentes del mundo real y realizar una comparación estadística de

los resultados simulados y las observaciones. Este es el tipo de validación utilizada en el presente trabajo en el cual se compara estadísticamente las unidades de aptitud de uso de las tierras obtenidas por el modelo con las correspondientes unidades observadas en campo mediante un muestreo aleatorio.

4. Estado de la cuestión: definiciones y conceptos

La tierra es un recurso limitado y no renovable por lo que es urgente armonizar el aprovechamiento racional de la misma a fin de optimizar la producción sostenible para satisfacer las diversas necesidades de la sociedad, conservando al mismo tiempo los ecosistemas frágiles y la herencia genética (INAB, sf).

La evaluación de las tierras permite conocer el potencial y las limitaciones de las mismas, de tal manera que hace posible la planificación adecuada de su uso, proporcionando así, una base sólida para el desarrollo sostenido de las poblaciones dependientes (Guarachi, 2001).

De los estudios de evaluación de tierras se puede obtener una predicción confiable de la capacidad natural productiva del recurso tierra, además de permitir normar adecuadamente el sistema de explotación empleado en la zona, mediante el establecimiento de un plan de acción pública regional (Guarachi, 2001).

Unidad de tierra (Units map). La unidad de tierra es en este contexto una porción de tierra que es ecológicamente homogénea al nivel de escala a la que trabajemos.

Suelo (Soil). El Suelo es un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra, que ocupa un espacio, y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como

resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural (*Soil Survey Staff, 2006*).

Tierra (*Land*). La tierra es un área de la superficie del globo terrestre que se puede delinear, abarcando todos los atributos de la biosfera inmediatamente por encima y por debajo de su superficie, incluyendo el clima en la zona cercana a la superficie, el suelo y las formas del terreno, la superficie hidrológica -incluyendo lagos poco profundos, ríos, humedales y pantanos-, las capas sedimentarias cercanas a la superficie y las reservas de aguas subterráneas asociadas a las mismas, las poblaciones de la flora y la fauna, las formas de colonización de la población humana y los resultados físicos de la actividad humana anterior y actual, como: terrazas, estructuras para reserva o drenaje de aguas, caminos, construcciones, etc. (*FAO, 2001*).

Evaluación de tierras (*LE, Land evaluation*). Es la actividad que describe e interpreta aspectos básicos de clima, vegetación, suelos y de otros aspectos biofísicos y socioeconómicos para identificar probables usos de la tierra y compararlos con el rendimiento estimado de su aplicación sostenible, es decir su aplicación deseada (*INAB, sf*).

Uso agrícola de la tierra (*Land use*)- Es una actividad parcial del proceso global de producción en que se halla inmersa y se desenvuelve la sociedad en su conjunto, que se distingue por el carácter de los productos. Dentro de la producción agrícola en general, puede definirse: Uso agrícola, uso pecuario y uso forestal (*Duch et al., sf*).

Limitación. Es una cualidad de la tierra con su expresión como criterio diagnóstico, que afecta adversamente el potencial de la tierra para una clase específica de uso (*CLIRSEN et al., 1990*).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Método de evaluación de tierras para cultivos específicos

1.1. Clasificación de aptitud de uso de la tierra (FAO, 1976)

El método de evaluación de las tierras para la determinación de su aptitud para un uso específico según Van Ranst, 1991, es un modelo empírico cualitativo que define la aptitud de un suelo y el clima de la zona, para un uso en particular, en este caso para la producción del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Desde los años setenta la FAO, ha venido perfeccionando la metodología de evaluación de tierras, con el objetivo de establecer un marco teórico para los procedimientos de evaluación que van más allá de solo la descripción formal de clases y por ello, el método de FAO es considerado la referencia estándar en evaluación de tierras.

La estructura de la clasificación consiste en cuatro niveles jerárquicos: orden, clase, subclase y unidad (Constantini, 2009).

1.2. Niveles de Clasificación de aptitud de tierras

1.2.1. Ordenes de aptitud de tierras

Hay solo dos órdenes que indican si la porción de tierra estudiada es apta (S) o no (N) para un uso agrícola sostenible. El uso de los órdenes por si solos es generalmente restringido a estudios a pequeña escala. El orden apto o adecuado S define un área de tierra, la cual puede sustentar a los cultivos o que resulta rentable el uso de recursos humanos, económicos y tecnológicos, sin ningún riesgo de degradación ambiental. Las tierras del orden N o no adecuadas por el contrario, se definen como una porción de tierra que no es apta para un uso económico y/o ambiental sostenible (Constantini, 2009).

1.2.2. Clases de aptitud de tierras

Las clases definen el grado de aptitud. Para el orden S, se recomiendan tres clases: S1 muy apto, S2 moderadamente apto, S3 apenas o marginalmente aptos; para el orden N, se recomiendan dos clases: N1 actualmente no apto y N2 permanentemente no apto. Si hay razones válidas el número de clases puede aumentar o reducirse (Son y Sherestha, 2008).

La estructura de clasificación permite en algunos casos limitados el uso de la fase Sc definida como apta bajo ciertas condiciones. Si por ejemplo una unidad de suelo es clasificada como N2o/Sc1, quiere decir que esta no es por el momento apta debido a problemas de disponibilidad de oxígeno en el área radicular, pero podría convertirse en muy apta si los problemas de drenaje fueran resueltos (Constantini, 2009).

1.2.3. Subclases de aptitud de tierras

Uno de las recomendaciones que hace este método es la necesidad de acompañar la evaluación de tierras con actividades de investigación agrícola, principalmente para establecer los requerimientos culturales y biofísicos en modelos medioambientales en particular por lo que se utilizan las subclases (Son y Sherestha, 2008).

Las subclases reflejan los tipos de limitaciones o tipos de medidas o de mejoras requeridas dentro de las clases, y son representadas con letras minúsculas con significado nemotécnico. Se han definido las siguientes subclases: (c) limitaciones climáticas, (t) limitaciones topográficas, (h) limitaciones de humedad, (s) limitaciones físicas de suelos (que influyen la relación: suelo, agua y el manejo), (f) limitaciones de fertilidad de suelos que no sean fácilmente corregidas, (n) limitaciones de salinidad y/o alcalinidad (Van Ranst, 1991).

1.2.4. Unidades de aptitud de tierras

Este grupo es usado para identificar unidades de desarrollo de tierras teniendo menores diferencias en requerimientos de manejo. Esto puede indicar la relativa importancia en trabajos de mejoramiento de las tierras. Se recomienda indicar estos por números arábigos, encerrados en paréntesis (Van Ranst, 1991).

1.3. Procedimiento de la evaluación de tierras

El procedimiento de evaluación consta de 3 fases (Van Ranst, 1991):

- Recolección de las características o cualidades actuales de la tierra, necesarias para la evaluación.
- Determinación de los requerimientos del tipo de utilización de la tierra.
- Evaluación del suelo con base a los requerimientos del cultivo.

1.3.1. **Fase 1: Recolección de las características o cualidades actuales de la tierra, necesarias para la evaluación**

En esta fase se recopila la información que permite disponer de las características o cualidades actuales de la tierra que se utilizarán en la evaluación propiamente dicha.

En el cantón Montecristi esta información está compuesta por los documentos que se describen a continuación¹:

¹ Nota: Esta información se levantó en el proyecto “*Generación de geoinformación a nivel nacional para la gestión del territorio a escala 1:25.000*” (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2011). Si se desea ver los mapas en escala de presentación para consultar las leyendas, bases de datos y memorias técnicas se encuentran disponibles en: <http://www.sni.gob.ec> ó <http://www.institutoespacial.gob.ec/geoport-2/>

- **Mapa base (1: 25.000)**

Se utilizó el *Shapefile* (extensión shp) del mapa base del cantón Montecristi (figura 3.1), el modelo digital del terreno y mapas de límites nacionales, provinciales y cantonales; para la impresión de publicación del mapa de evaluación de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz, y algunas coberturas necesarias como referencia para el análisis de los resultados como por ejemplo los ríos.

Además del mapa de pendientes generado a partir del *Shapefile* de curvas de nivel utilizando la herramienta *3D Analyst*, podemos observar los siguientes rangos de pendientes según la aptitud para el cultivo de maíz: plana a muy suave de 0-5 % que ocupa 26,3 % del total del área del cantón, asociado a geoformas planas como superficie de mesa marina, superficie disectada de mesa marina y depósitos aluviales como terrazas y valles fluviales; también se encuentran pendientes suaves del 5-12 % distribuidos en un área de 23,7 % del total del cantón, que corresponden a superficies de conos de deyección, vertientes de mesas marinas y depósitos coluvio aluviales; luego encontramos pendientes medias del 12-25% asociadas a relieves ondulados y relieves colinados bajos con el 21,42 % del área total; luego también pendientes medias a fuertes, fuertes y muy fuertes > 25% asociados a los relieves colinados medios altos y muy altos de la Cordillera Costera con el 26,65% del total del cantón.

CANTÓN MONTECRISTI

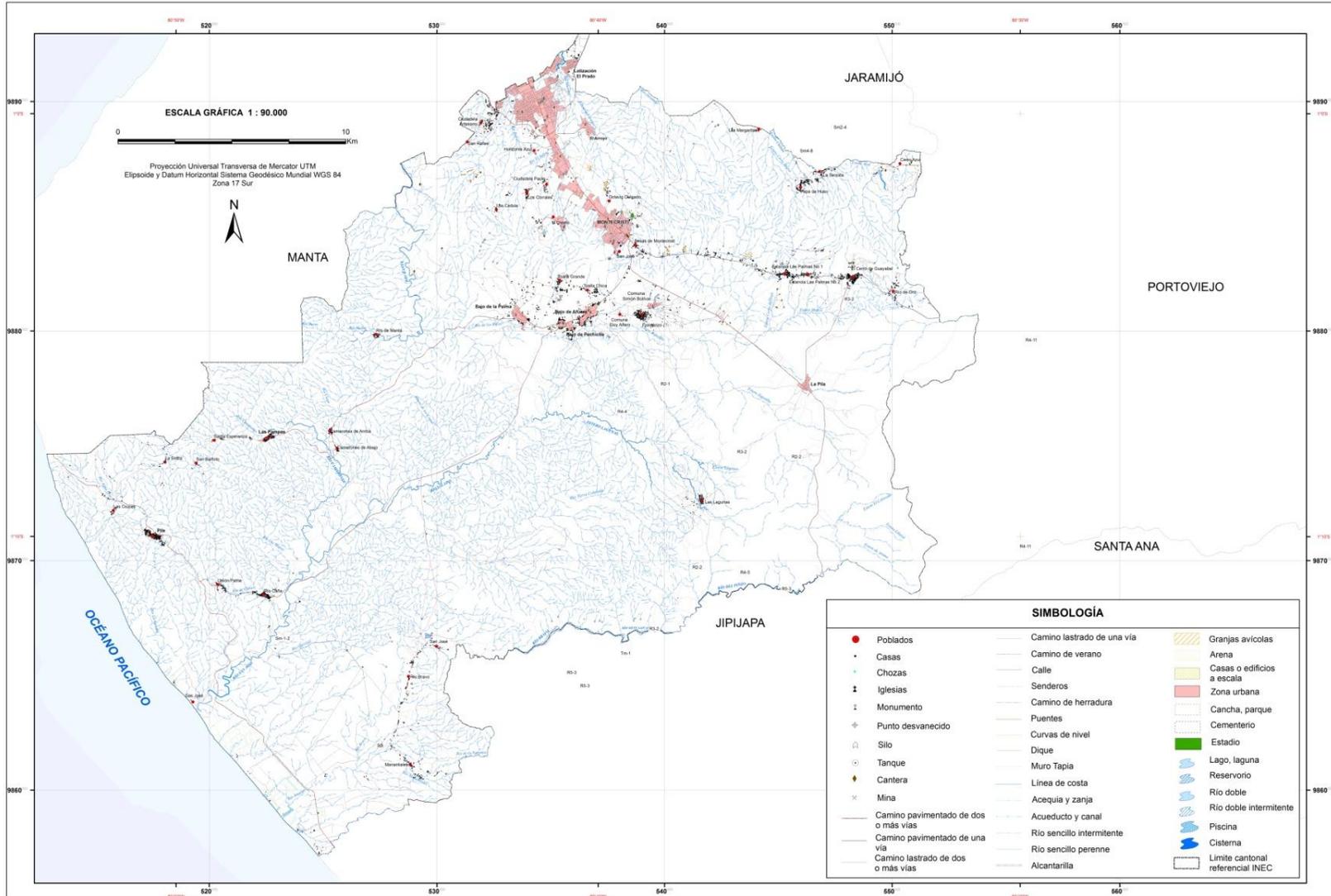


Figura 3.1. Mapa base del cantón Montecristi (IEE 1, 2011)

• **Mapa geomorfológico escala 1: 25.000 (IEE 1, 2011)**

Se utilizó el *Shapefile* (extensión shp) y la base de datos del mapa geomorfológico del cantón Montecristi, para calificar las pendientes, que constituyen la variable topográfica de la presente evaluación, además para la generación del mapa litológico que fue un insumo necesario para discutir la influencia de las geoformas y el material parental en la aptitud del suelo para el cultivo de maíz.

Cantón Montecristi

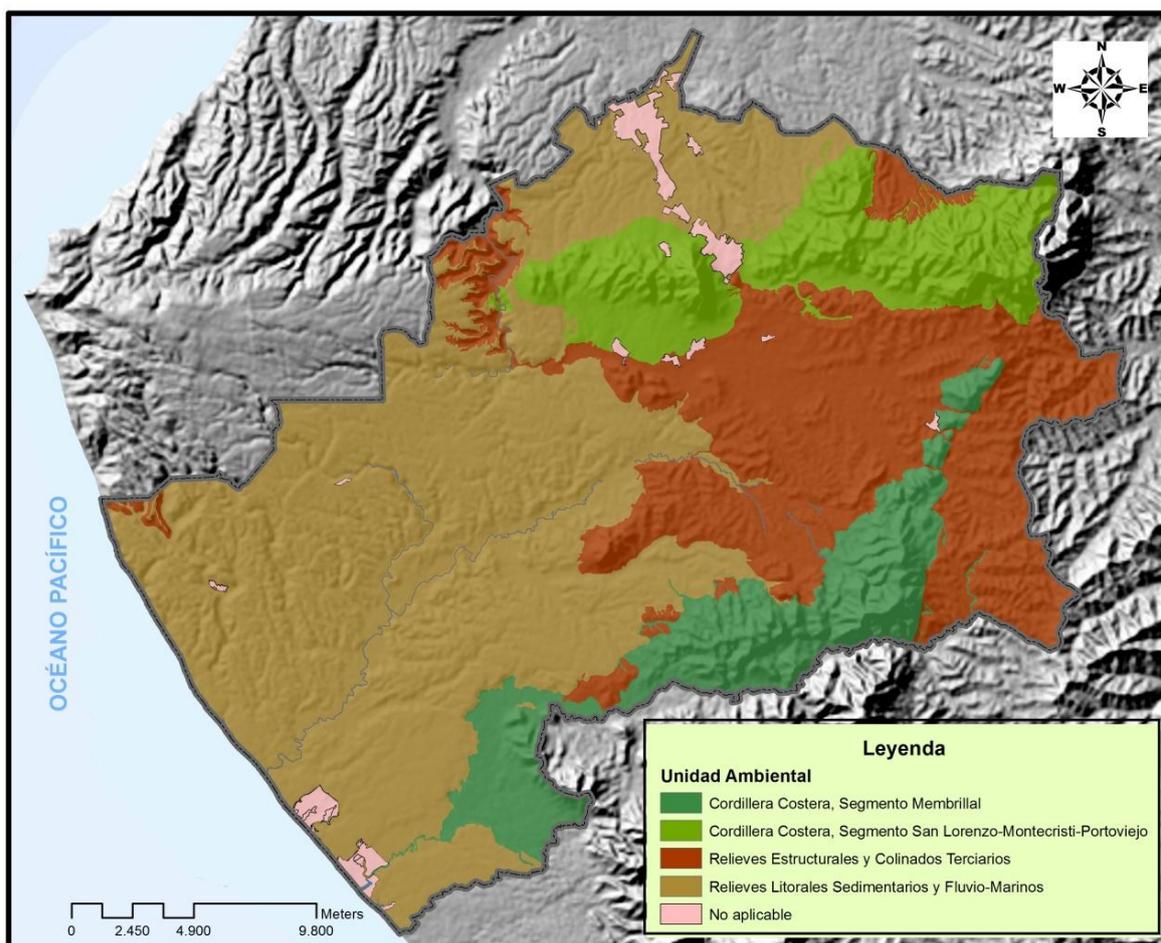


Figura 3.2. Unidades ambientales en el cantón Montecristi (IEE 1, 2011)

Entre las unidades ambientales encontradas del cantón Montecristi (figura 3.2) tenemos: La Cordillera Costera Segmento San Lorenzo-Montecristi-Portoviejo, la cual se encuentra ubicada en la parte norte del cantón, cuenta con un área de 8.578,22 ha, que corresponde al 12 %; la Cordillera Costera

Segmento Membrillal, con un área de 8.265,07 ha, correspondiente al 11 %, ubicada al lado sureste del cantón; los Relieves Estructurales y Colinados Terciarios, situados desde centro y hacia el este, y una pequeña porción al noreste del cantón, posee un área de 19.244,87 ha, correspondiente al 26 % de la superficie total; los Relieves Litorales Sedimentarios y Fluvio Marinos con un área de 36.879,04 ha, correspondiente al 50 % del área total del cantón, localizados en mayor porcentaje en la mitad oeste y en menor porcentaje en la parte norte de Montecristi.

Las formas de relieve de la Cordillera Costera Segmento San Lorenzo-Montecristi-Portoviejo; Cordillera Costera Segmento Membrillal y Relieves Estructurales y Colinados Terciario son de origen deposicional y tectónico erosivo, mientras que las formas de relieve de los Relieves Litorales Sedimentarios y Fluvio Marinos son de origen deposicional y denudativo.

Las unidades morfológicas existentes del cantón Montecristi están relacionadas con la siguiente **litología**:

Formación Piñón.- En el Jurásico tiene lugar una emisión de potentes flujos volcánicos que se prolongan hasta el Cretácico, consiste de corteza oceánica acrecionada al continente y conformada por lavas basálticas y brechas de origen submarino. Las lavas van de masivas a porfiríticas; algunas exhiben estructuras de almohadillas.

Este tipo de rocas se encuentran aflorando en dirección noreste del cantón y en la parte centro norte, formando relieves colinados altos y muy altos de limitada extensión, los cuales presentan cimas agudas y pendientes fuertes.

Formación Cerro.- Eoceno medio, consiste en lutitas silíceas grises y margas tobáceas, color café chocolate.

Los relieves de esta formación se encuentran ubicados en la parte noreste y en el límite centro sur del cantón, formando relieves colinados medios y altos.

Formación San Mateo.- En el Eoceno medio se produce un evento transgresivo que origina la depositación de sedimentos detríticos, compuestos por conglomerados y por una facies de areniscas finas a medias con presencia de vetillas de lignito con interestratificaciones de lutitas verdosas. Las geoformas características de esta formación son: relieves colinados altos, medios y vertientes de mesa marina.

Este tipo de relieves se encuentran ubicados en la parte noreste, al extremo noroeste y al sureste del cantón.

Formación Tosagua.- En el Eoceno superior hasta el Mioceno inferior hay una fuerte depositación de sedimentos finos que dan origen a esta formación que tiene dos miembros:

- *Miembro Dos Bocas.*- Esta formación yace en discordancia sobre la Formación San Mateo, consiste en lutitas laminadas color café chocolate con presencia de vetillas de yeso. Las geoformas se encuentran ubicadas en su gran mayoría en la parte sureste del cantón y en un menor porcentaje en la parte noreste, estas forman relieves colinados medios, bajos y muy bajos.
- *Miembro Villingota.*- conformada por lutitas laminadas diatomáceas blancas algo calcáreas y arcillolitas diatomáceas café claras muy blandas, se encuentran localizadas en una pequeña área en la parte oeste de Montecristi en el límite con el cantón Manta, forman relieves colinados bajos, medios y vertiente de mesa marina

Formación Canoa.- En el Plioceno, continúa la sedimentación de materiales detríticos finos, litológicamente la formación comprende:

- Arenas limosas café amarillentas con presencia de arcilla.

- Arenas limosas gris verdosas con presencia de arcillas, arenas finas amarillas ligeramente compactas y arenas de grano medio a grueso de color gris.
- Arenas limosas café amarillentas con presencia de arcillas, recubrimiento calcáreo (Formación Tablazo) y depósitos arenosos recientes.

Esta formación cubre gran parte del cantón Montecristi se extiende desde el centro hacia el oeste y hacia el sur del mismo, está formando relieves colinados bajos, superficies disectadas de mesa marina, vertientes de mesa marina y gargantas.

Formación Tablazo.- Pleistoceno, comprenden gargantas, superficies de mesa marina, superficies disectadas de mesa marina, vertientes de mesa marina, encañonamiento de mesa marina compuestas principalmente por depósitos de areniscas calcáreas poco compactadas de grano fino a medio. Afloran principalmente en la parte norte del cantón.

Depósitos Aluviales.- Constituyen depósitos de edad cuaternaria constituidos por limos, arenas finas a medias y arcillas con presencia de gravas finas. Se encuentran distribuidos al norte y sur este del cantón formando valles y terrazas aluviales, así como glacis de esparcimiento.

Depósitos Coluviales.- Constituyen depósitos cuaternarios ubicados al pie de las vertientes como consecuencia del transporte gravitacional de los materiales resultantes de la desintegración de los relieves primarios, comprendiendo bloques y gravas de arenisca en matriz limo arenosa.

Depósitos Coluvio Aluviales.- De edad cuaternaria, están compuestos por limos, arenas y clastos y depósitos aluviales compuestos de gravas, arenas y limos, que rellenan los valles formados por los ríos y parte de las cuencas hidrográficas.

Cantón Montecristi

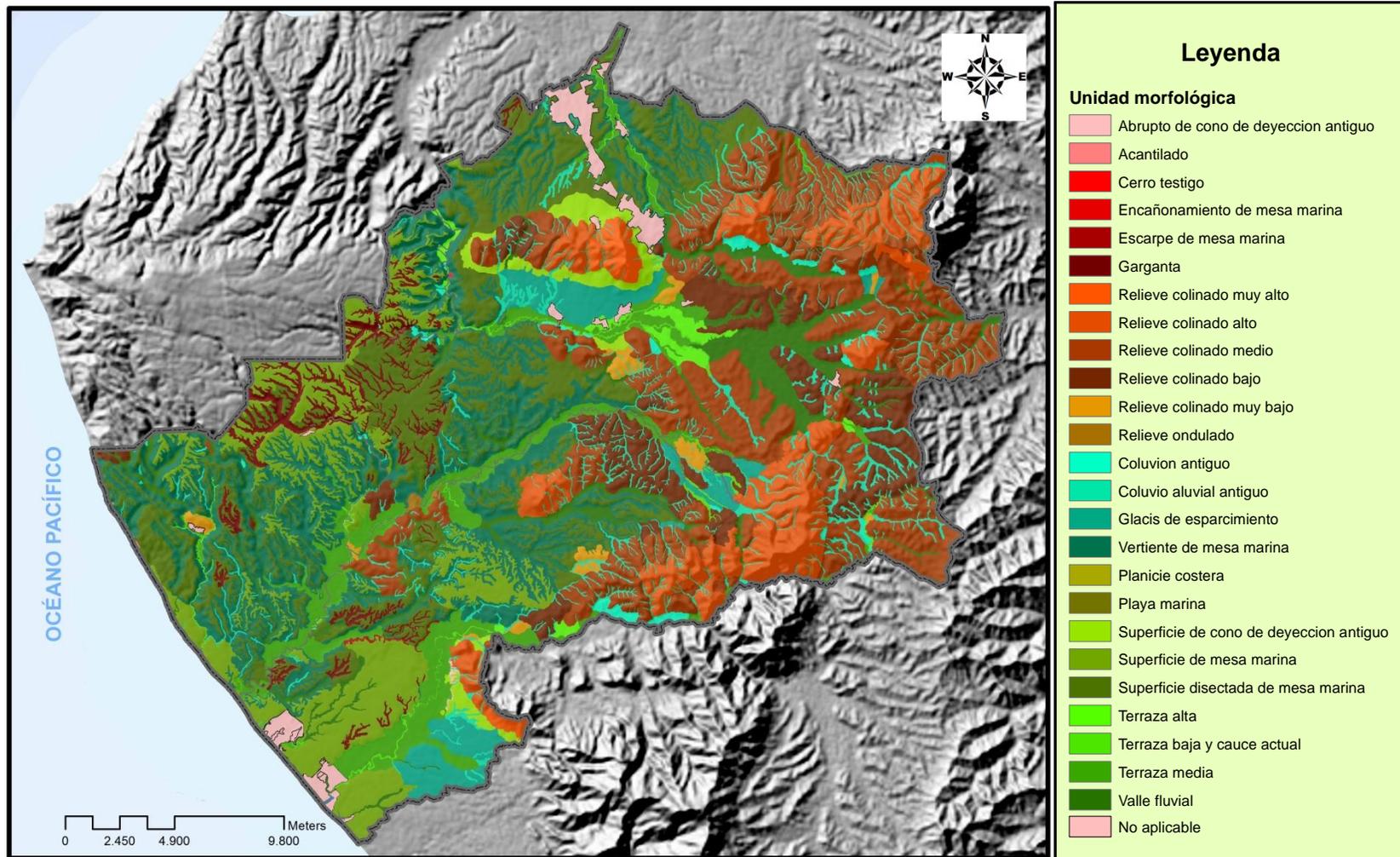


Figura 3.3. Unidades morfológicas en el cantón Montecristi (IEE 1, 2011)

En el cantón Montecristi se encuentran las siguientes **unidades morfológicas o formas del relieve** (figura 3.3): geoformas planas a suaves tenemos superficie de mesa marina, superficie disectada de mesa marina, terraza alta, media y baja, valle fluvial, planicie costera con el 39,12 % de la superficie del cantón; geoformas que presentan una pendiente media como vertientes de mesa, glacis de esparcimiento, coluvio aluvial antiguo y coluvión antiguo con el 24,22 %; luego encontramos geoformas onduladas y colinadas bajas caracterizadas por pendientes medias a fuertes, como relieves ondulados, relieves colinados muy bajos y bajos con el 7,36% de la superficie del cantón; y por último encontramos geoformas colinadas altas y escarpadas caracterizados por fuertes y muy fuertes pendientes, como los relieves colinados medios, altos y muy altos, acantilados, escarpes de mesa marina, entre otros con un 29,28 % del total del cantón.

• **Mapa de suelos o geopedológico (geoedafológico) 1: 25.000 (IEE 2, 2011)**

Está realizado con un enfoque geoedafológico, es decir, tomando en cuenta la estrecha relación, que existe entre las diferentes formas de relieve, la litología y los suelos que se desarrollan en cada una de ellas.

Por este motivo este mapa geoedafológico se realizó utilizando una calicata u observación detallada por cada unidad geomorfológica, haciendo además observaciones adicionales si se tiene diferencia de pendientes y litología dentro de una misma unidad geomorfológica, para poder discriminar las posibles diferencias en clasificación de suelos que se encuentren en dicha unidad por efecto de estos factores, y además de utilizar observaciones de comprobación (barrenaciones o sondeos) para poder determinar correctamente los límites de cada unidad de suelos. De todas maneras esta metodología no está a total satisfacción con los estándares establecidos en el número de observaciones por km², para levantamiento de suelos a escala semidetallada 1:25.000, que deberían ser de 4 a 20 por Km² (Rossiter,

2000), en este mapa de suelos es de 4,8 observaciones por Km² es decir esta apenas rozando el límite inferior.

De todas las maneras este mapa tiene una gran validez y se utilizó la información de las características físicas y químicas de los suelos levantadas para la generación de dicho mapa (los cuales se muestran detalladamente en datos de análisis de laboratorio), que es adecuada para el tipo de evaluación de tierras que se ha realizado en el presente trabajo, que es más bien a nivel de administración cantonal, es decir para ser utilizada por las autoridades y técnicos especialistas que administren el cantón Montecristi y no a nivel de finca o de los agricultores, Además se utilizó el *Shapefile* de la base de datos de este mapa para la generación de los mapas de materia orgánica, pH y profundidad efectiva.

En el cantón Montecristi se encuentran los siguientes Órdenes de suelo (figura 3.4), según la *Soil Taxonomy* (2006):

- Entisoles, con 10.643,72 ha, que representan el 14,33 % del área total del cantón. Son suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo de horizontes edafogenéticos subsuperficiales (perfil A/C ó A/R), debido a que el tiempo de desarrollo ha sido muy corto o porque se encuentran sobre fuertes pendientes sujetos a erosión o porque están sobre planicies de inundación donde están expuestos a continuas descargas de nuevos materiales que los rejuvenece, condiciones que no permiten el desarrollo del suelo. Las condiciones de poco espesor o desarrollo del suelo limitan su uso; los principales problemas para su aprovechamiento constituyen la erosión, rocosidad, excesivos materiales gruesos, susceptibilidad a la inundación. Sin embargo también hay Entisoles fértiles de los aluviones y llanuras costeras (Fluvent), que sirven de sustento a una agricultura intensiva, donde los suelos son formados por sedimentos aluviales recientes, sobre planicies de inundación, abanicos y deltas de los ríos, terrazas y llanuras y su característica principal constituye presentar capas

estratificadas de textura variable y distribución irregular en el contenido de materia orgánica, este tipo de suelos casi no se presentan en el cantón.

- Inceptisoles, con 28.502,95 ha, que representan el 38,33 % del área total del cantón. Son suelos que evidencian un incipiente desarrollo edafogenético (perfil A/Bw ó A/Bg), dando lugar a la formación de algunos horizontes de alteración; los procesos de translocación y acumulación pueden presentarse. Constituyen una etapa subsiguiente de evolución, en relación con los Entisoles, sin embargo son considerados inmaduros en su evolución. Estos suelos se han originado a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes, depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes. Los Inceptisoles incluyen típicamente una secuencia de un epipedón ócrico sobre un horizonte cámbico. El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes fuertes son más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones con drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente.

Los Inceptisoles y Entisoles se encuentran principalmente en los relieves colinados altos y muy altos de la Cordillera Costera al norte y al sureste del cantón Montecristi, aunque encontramos también Inceptisoles en las vertientes de mesas marinas y sobre algunos depósitos aluviales y depósitos coluvio aluviales distribuidos desde el centro hacia el sur del cantón.

- Alfisoles, con 20.732,95 ha, que representan el 27,88 % del área total del cantón. Son suelos que poseen un epipedón ócrico (eluvial) sobre un horizonte argílico (iluvial) y moderada a alta saturación de bases, en donde el proceso más importante asociado a estos suelos lo constituye la translocación de arcillas y su acumulación para formar el horizonte argílico (perfil A/Bt); generalmente se desarrollan sobre superficies

antiguas o en paisajes jóvenes pero estables como las superficies de mesa marina más o menos disectadas, donde se encuentran estos suelos en el cantón Montecristi, sin embargo son suelos cuyo desarrollo aún les permite retener cantidades notables de minerales primarios, arcillas, minerales y nutrientes para las plantas. Son suelos recomendados para explotaciones intensivas de cultivos anuales, por su alto contenido en bases y alta reserva de nutrientes. Como limitaciones generales se puede mencionar la infiltración y problemas para el desarrollo radicular de los cultivos cuando aparece un límite abrupto entre horizontes (Palexeralf).

Cantón Montecristi

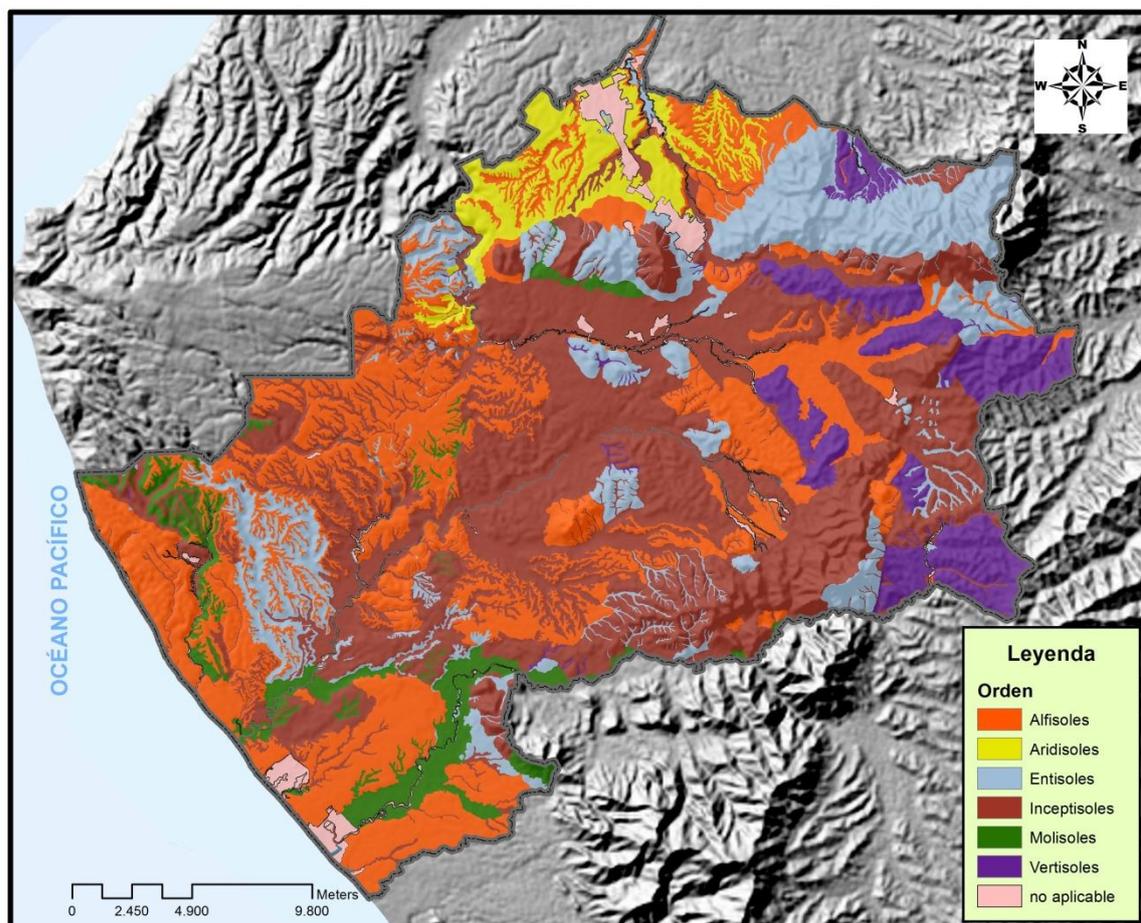


Figura 3.4. Mapa geodafológico (Órdenes de suelo) del cantón Montecristi (IEE 2, 2011)

- Vertisoles, con 5.370,27 ha, que representan un 7,22 % del área total del cantón. Son suelos arcillosos que presentan como característica principal grietas anchas y profundas en alguna época del año. Por lo general tienen poca materia orgánica, alta saturación en bases y predominio de montmorillonita en su composición mineralógica. Sus características físicas especialmente definen algunas limitaciones físicas para su utilización, muy pesados en húmedo y extremadamente duros en seco y reducido movimiento del agua; son suelos de colores oscuros, negros o grises; de difícil laboreo; profundidad variable, pero muy fértiles. Se ubican en superficies sedimentarias, con relieves planos a ondulados; sobre pequeñas colinas, cuencas o antiguas playas levantadas de la región costera a partir de sedimentos de origen marino o fluvio-marino y sobre relieves planos de la llanura costera, a partir de sedimentos aluviales y en donde además se caracterizan por su nivel freático superficial. Estos suelos son los más aptos para el cultivo del arroz, tanto por su capacidad de retención de humedad, como por sus condiciones naturales de fertilidad. En el cantón Montecristi se presentan muy localizados en la parte norte una porción muy pequeña y otra al noreste de cantón y están relacionados al material parental del que tuvieron origen, que son las lutitas del Miembro Dos Bocas (ver litología).

- Molisoles, con 3.549,73 ha, que representan un 4,77 % del área total del cantón. Son suelos en su mayoría de color negro, ricos en bases de cambio, muy comunes de las áreas originalmente de praderas que han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor, oscuro, con abundantes materiales orgánicos y de consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular (epipedón mólico), debiendo destacarse para ello la acción de microorganismos y lombrices. En estos suelos pueden presentarse también procesos de translocación de arcillas que permitirán la formación de un horizonte de iluviación o argílico. Estos suelos en las llanuras y valles aluviales presentan texturas franco arenosas, arcillosas o franco arcillosas y buena fertilidad. Estos suelos tienen buenas condiciones de fertilidad, se presentan en el

cantón Montecristi principalmente al sur y al suroeste en depósitos aluviales sobre terrazas y valles fluviales.

- Aridisoles, 3.280,06 ha, que representan 4,41 % del área total del cantón. Corresponden a suelos localmente desarrollados en condiciones muy secas, régimen de humedad arídico. Generalmente tienen un epipedón ócrico sobre un horizonte argílico, nátrico ó cámbico; a veces presentan un horizonte sálico (conductividad eléctrica >30 dS/cm) y los mismos pueden ser heredados de una fase climática previa. En los Aridisoles la evapotranspiración es mayor a la precipitación en la mayoría de meses, fenómeno que afecta los factores formativos del suelo, en especial las pérdidas y translocaciones y genera transformaciones en su mayoría de naturaleza física. Están cubiertos por lo general de una vegetación muy escasa y xerofítica. Su utilización implica graves limitaciones, especialmente en el manejo de sales en el riego. Se encuentran en la parte norte del cantón Montecristi asociados a la Formación Tablazo (ver litología).

• ***Mapa de capacidad de uso de las tierras 1: 25.000 (IEE 3, 2011)***

Este mapa se lo utilizó únicamente como referencia, ya que es una evaluación mas general de las tierras que las clasifica, como ya se ha dicho, en 8 clases, de las cuales las cuatro primeras tienen aptitud agrícola, la quinta para pastos, las sexta y séptima con aptitud agroforestal y forestal respectivamente y la octava de conservación, según la metodología adaptada por el IEE de la USDA de Klingebiel y Montgomery de 1961 (Constantini, 2009).

Es interesante observar como en esta metodología el grado de capacidad de uso de la tierra es condicionado principalmente por la pendiente, como podemos ver en la figura 3.5, las clases VII y VIII están delimitados a los relieves colinados altos y muy altos de la Cordillera Costera y las clases II y III a las zonas más planas; mientras que, en la evaluación que se realiza en

el presente estudio de aptitud de uso para el cultivo de maíz el grado de aptitud lo determina la limitación más importante, en este caso el clima.

Cantón Montecristi

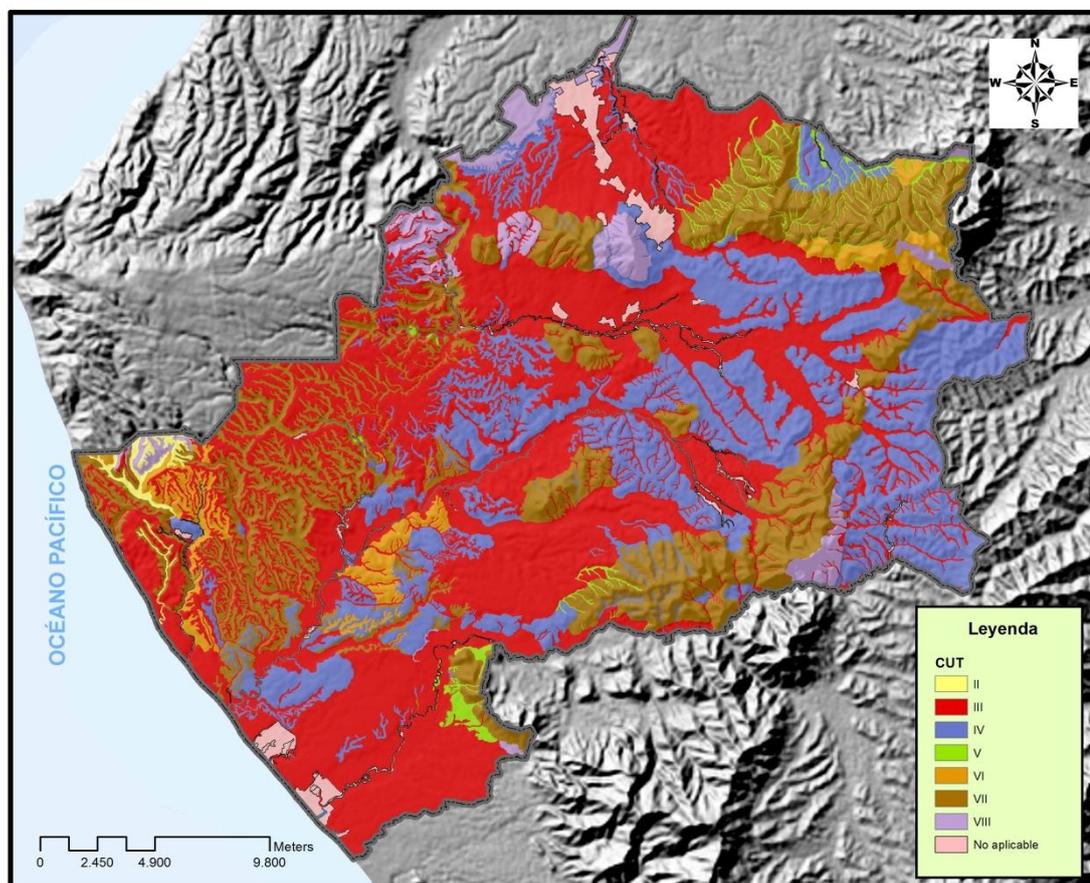


Figura 3.5. Mapa de capacidad de uso de la tierra de Montecristi (IEE 3, 2011)

- **Mapa de conflictos de uso del suelo 1: 25.000 (IEE 4, 2011)**

Se utilizó el *Shapefile* de este mapa y su base de datos para hacer cálculos de las superficies de uso actual de suelo del cantón Montecristi, y para la generación del mapa de áreas actualmente cultivadas con maíz (*Zea mays* L.)

De este mapa (figura 3.6), podemos observar que en el cantón Montecristi, del total de su superficie (74.367,66) ha, el 49,08 % no presenta conflictos de uso mientras que el 45,43 % restante tiene algún nivel de conflicto de uso (figura 3.6) repartidos de la siguiente manera:

- Subutilizado, con un 38,79 %.
- Sobreutilizado de baja intensidad, con un 2,26 %.
- Sobreutilizado de mediana intensidad, con un 2,22 %.
- Sobreutilizado de alta intensidad, con un 2,16 %.

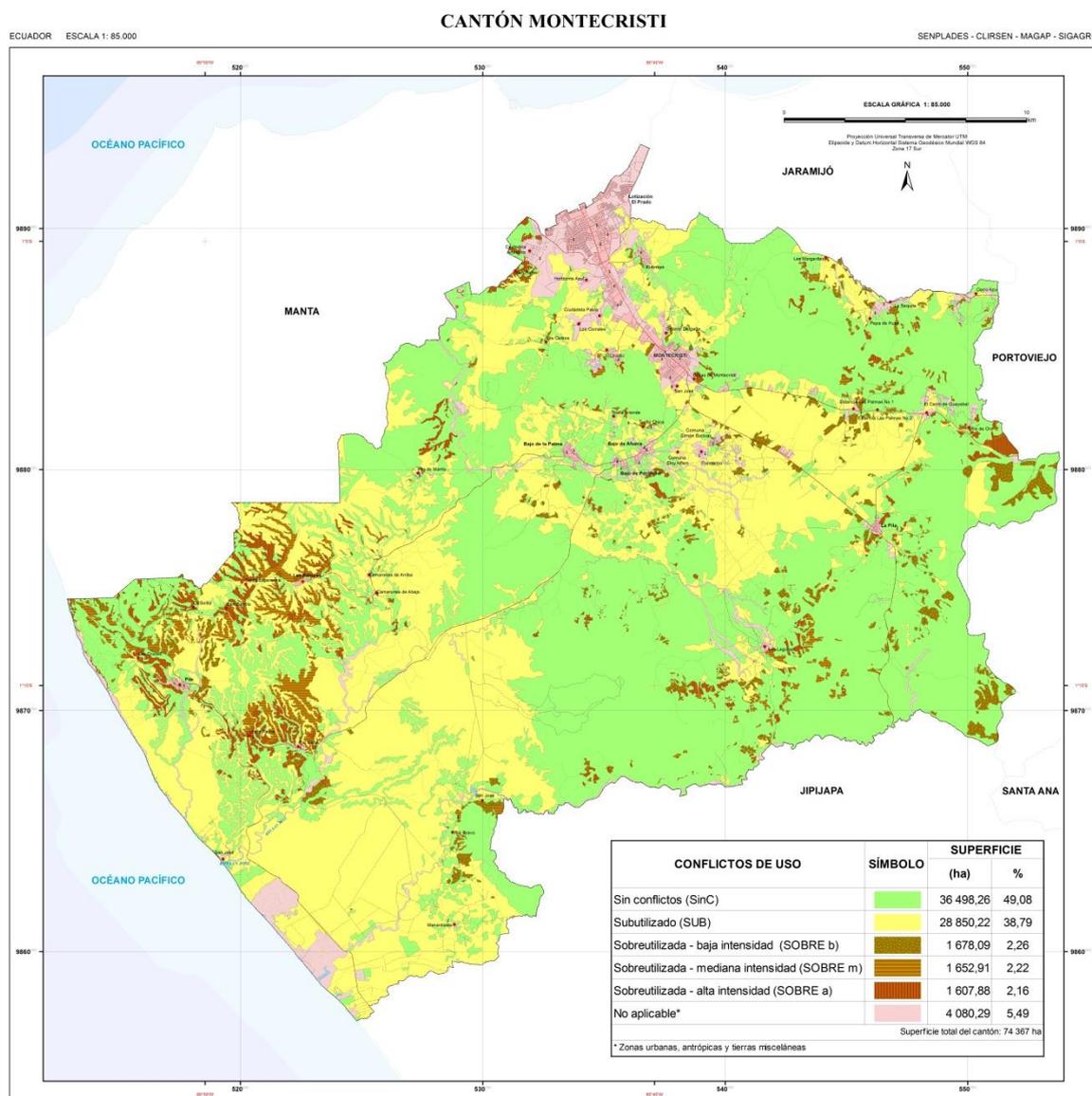


Figura 3.6. Mapa de conflictos de uso del suelo (IEE 4, 2011)

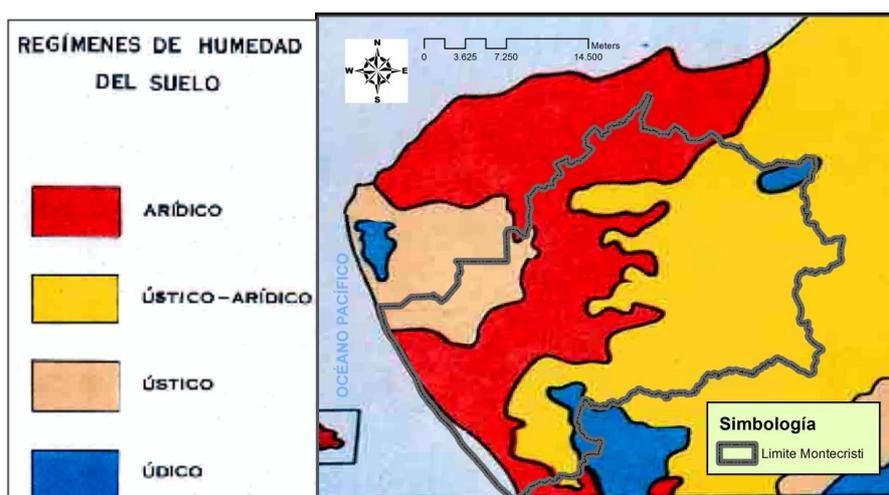
De estos datos podemos observar que el 38,79 % del cantón está subutilizado, lo que indica que tiene un alto potencial de desarrollo agrícola, con estudios complementarios como la presente evaluación de suelos se puede llegar a desarrollar áreas de expansión agrícola, las mismas que pueden estar integradas dentro de medidas de ordenamiento del territorio,

con el propósito de establecer una gestión adecuada de los recursos naturales disponibles en el cantón Montecristi.

• **Datos climáticos**

Se utilizaron datos climáticos de temperatura y precipitación para la generación del mapa de isoyetas e isotermas del cantón Montecristi².

El cantón Montecristi se encuentra a una altura promedio de 220 m.s.n.m., tiene una temperatura promedio de 25,6°C con una mínima de 24°C y una máxima de 28°C, las precipitaciones promedio son de 465 mm/año (IEE 1, 2011).



Fuente: Carta de suelos de Portoviejo escala 1: 200.000, MAGAP-PRONAREG-ORSTON, 1980

Figura 3.7. Figura de regímenes de humedad del suelo en el cantón Montecristi

Como se puede observar en la figura 3.7, el cantón Montecristi está atravesado longitudinalmente de norte a sur en la mayor parte de su superficie por dos regímenes de humedad del suelo, desde el centro al oeste

² Nota: estos datos no están publicados y fueron facilitados personalmente por el componente de Clima del Instituto Espacial Ecuatoriano

el régimen arídico y del centro al este el régimen ústico-arídico. Presentando únicamente una pequeña porción del cantón al este con régimen ústico y un par muy pequeño al norte y al sureste del cantón con régimen ústico. Lo que demuestra la muy poca disponibilidad de agua para los cultivos que brinda el cantón Montecristi y que constituye una fuerte limitación de aptitud para el cultivo de maíz.

1.3.2. **Fase 2: Determinación de los requerimientos del tipo de utilización de la tierra (cultivo de maíz).**

Como se ha dicho anteriormente en el cantón Montecristi el principal cultivo es el maíz, muchos son cultivos de secano marginales y unos cuantos intensivos con riego, por lo que la evaluación de suelos se realiza en concreto para las variedades adaptadas a la zona del cultivo de maíz en secano.

Los requerimientos agroecológicos se incluyen a continuación (INIAP, 2008)³:

Clima

Lluvia: 600 mm a 700 mm durante el ciclo

Temperatura: 22 a 32 °C

Suelo

De francos a franco arcillosos, bien drenados y fértiles. pH 6,0 a 7,0

³ Nota: Los productos aquí presentados para controles fitosanitarios, fertilizantes y sus dosis son únicamente referenciales, para estas variedades y para esta zona geográfica en particular; y no constituyen una recomendación general para el cultivo de maíz.

Variedades e Híbridos

Variedades: INIAP-528, INIAP-540, INIAP-542 y el Híbrido: INIAP-H-601.

Ciclo de Cultivo

El ciclo de cultivo de las variedades e híbridos es 120 días.

Manejo Técnico

Preparación del suelo a la siembra: arada profunda, rastrada, surcada

Época: En condiciones de secano con las primeras lluvias; bajo riego hasta el mes de agosto.

Cantidad: 15 kg de semilla por hectárea.

Distancia: En lomas y terrenos planos 100 cm entre hileras y 50 cm entre plantas con dos semillas por sitio.

Control de Malezas

Las malas hierbas pueden controlarse mecánicamente o mediante el uso de herbicidas.

Control mecánico: Dos o tres deshierbas cuando las malezas tengan menos de 10 cm de altura.

Control químico: Aplicar inmediatamente después de la siembra (preemergencia) 2,5 lt de Alaclor (Lazo + 1 kg Igran).

En lomas y áreas donde sólo se siembra maíz se debe aplicar en preemergencia 1,5 kg de atrazina + 2 litros de aceite agrícola + 300 cm³ a 400 cm³ de cualquier emulsificante por hectárea; en post emergencia solamente hasta cuando las malezas tengan de 2 a 3 hojas (15 días después de la siembra).

Fertilización

Aplicar 80 kg de nitrógeno (N) por hectárea (4 sacos de urea) y 20 kg de fósforo (P₂O₅) por hectárea (2 sacos de superfosfato simple) y un saco de muriato de potasio (30 kg/ha de K₂O).

La urea debe aplicarse 2 sacos a los 15 a 20 días después de la siembra y posteriormente los 2 sacos restantes a los 15 a 20 días después de la primera fertilización. El fósforo y el potasio deben aplicarse a la siembra.

Estas son únicamente dosis referenciales, El agricultor debe hacer siempre análisis de suelos y hojas para obtener recomendaciones precisas de fertilización, y que el cultivo no presente deficiencias ni que se ponga más fertilizante del requerido, que aumentará los costos de producción y contribuirá a la contaminación del suelo, agua y aire.

Combate de Insectos Plaga

Tratamiento a la semilla. Para el combate de insectos plagas como cortadores, grillos y barrenadores del tallo mezclar 120 cm³ de Semevin con 15 kg de semilla.

Aspersiones de insecticidas. Para el control del cogollero se recomienda la aplicación de aspersiones al follaje usando 600 cm³ de clorpirifos (Lorsban) en 400 litros de agua por hectárea.

Riego

Cuando se siembra el maíz bajo condiciones de riego aplicar de 9 a 10 riegos de 60 mm cada uno.

Cosecha

La cosecha se puede realizar manualmente o a máquina cuando el grano de maíz tenga 20% a 25 % de humedad.

1.3.3. Fase 3: Evaluación del suelo con base a los requerimientos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

La evaluación propiamente dicha, se realiza comparando las características del suelo con el tipo de utilización de tierra que le queremos dar a esta (Van Ranst, 1991), que para este caso es cultivo de maíz.

En esta fase de la evaluación el tipo de uso de la tierra (requerimientos para el cultivo de maíz) es comparado con las características de cada unidad cartográfica de tierra analizada por diferentes vías para poder dar a cada unidad una clasificación de aptitud para este uso determinado (FAO, 1983).

Durante el proceso de comparación debemos considerar hacer una revisión preliminar y repetición de ser necesario, mejoras que se pueden hacer en la unidad de tierra, el impacto ambiental que conlleva este uso de la tierra, hacer un análisis económico y social del uso o del cambio a este uso de tierra, hacer una comprobación en campo y finalmente llegar a la clasificación de aptitud de la tierra definitiva de cada unidad analizada para el uso del cultivo de maíz (FAO, 1983).

Cuadro 3.1. Ejemplo de matriz de calificación de las clases de limitaciones con las diferentes características del suelo (Van Ranst, 1991)

Características del suelo	Clases				
	S1	S2	S3	N1	N2
Clima (c)			x		
TOPOGRAFIA (t) Pendiente (%)		X			
HUMEDAD (h) Inundación Drenaje	X X				
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO (S) Textura Fragmentos gruesos (vol.%) Profundidad del suelo (cm) CaCO ₃ (%) CaSO ₄ (%)	X X	X X X			
FERTILIDAD (f) CIC (cmol(+)/kg arcilla) Suma de bases de cationes intercambiables (Ca+Mg+K) (cmol(+)/kg suelo) pH en agua, relación suelo:agua 1:2,5 Carbono orgánico (%)	X X	 X X X			
SALINIDAD Y ALCALINIDAD (n) Conductividad eléctrica (dS/m) Porcentaje de Sodio Intercambiable (%)		X X			
Clase de Aptitud de tierra			S3		

En el cuadro 3.1, se presenta un ejemplo de calificación de las unidades de tierra de acuerdo a los requerimientos de cultivo, además en el cuadro 3.2, se muestran requerimientos climáticos y edáficos específicos para el cultivo de maíz con su correspondiente acotación relacionada con la evaluación de tierras.

Cuadro 3.2. Requerimientos climáticos y de suelo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedades: INIAP-528, INIAP-540, INIAP-542 y el híbrido INIAP-H-601

Características del suelo	Clases				
	S1	S2	S3	N1	N2
CLIMA (c)					
Precipitación media (mm) durante el ciclo de cultivo ¹	600-700	700-1200 400-600	300-400	-	<300
Temperatura media (°C) durante el ciclo de cultivo ¹	22-32	16-22 33-35	14-15 35-40	-	<14; >40
TOPOGRAFIA (t)					
Pendiente (%)	0-5	5-12	12-25	-	>25
HUMEDAD (h)					
Inundación	Sin o muy corta	Corta	Mediana	Larga	Permanente
Drenaje	Bueno	Moderado	Excesivo	Mal drenado drenable	Mal drenado no drenable
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO (s)					
Textura ²	YL, FYL, FL FY, F	L, Y, FYA	FA, AF	-	A, Y>60
Fragmentos gruesos (vol.%)	0-15	15-35	35-55	-	>55
Profundidad del suelo (cm)	>75	75-50	50-20	-	<20
CaCO ₃ (%)	0-15	15-25	25-35	-	>35
CaSO ₄ (%)	0-4	4-10	10-20	-	>20
FERTILIDAD (f)					
CIC (cmol+)/kg arcilla)	>20	20-12	12-6	6-3	<3
Saturación de Bases (%)	>50	50-35	35-20	<20	-
Suma de bases de cationes intercambiables (Ca+Mg+K) (cmol+)/kg suelo)	>5.0	5.0-3.5	3.5-2.0	<2.0	-
pH en agua	7.0-6.0	5.5-6.0 7.0-8.2	5.5-5.2 8.5-8.2	<5.2	>8.5
Materia orgánica (%)	>2	2.0-1.0	<1	-	-
SALINIDAD y ALCALINIDAD (n)					
Conductividad eléctrica (dS/m)	<4	4-6	6-8	8-12	>12
Porcentaje de Sodio Intercambiable (%)	<15	15-20	20-25	-	>25
¹ El ciclo de cultivo de las variedades e híbridos es 120 días					
² YL arcillo limoso, FYL franco arcillo-limoso, FY franco arcilloso, FL franco limoso, F franco, L limoso, Y arcilloso, FYA franco arcillo arenoso, FA franco arenoso, AF arena franca, A arenoso, Y>60 arcilloso con más de 60% de arcilla.					

Adaptado de (Van Ranst, 1991); (Constantini, 2009) e (INIAP, 2008)

1.4. Generación del mapa

Los insumos cartográficos para realizar este estudio (mapa de suelos, uso actual del suelo, clima, etc.) mencionados en materiales y los productos generados de este trabajo, es decir el mapa de aptitud de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi, se gestionaron en un ambiente de sistemas de información geográfica SIG por medio del software Arc Gis 10 de ESRI.

La escala de trabajo del mapa de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es 1: 25.000, debido a que esta es la escala de los insumos con los cuales se ha elaborado dicho mapa, que son los mapas geomorfológico y geodafológico (geopedológico) del cantón Montecristi.

El número de observaciones (calicatas) utilizadas para la elaboración del mapa geopedológico no es el más adecuado, para la escala de publicación de acuerdo a la metodología tradicional de levantamientos de suelos a escala semidetallada (ver &1.3 Fase 1), El Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) justifica esta cuestión aludiendo a la gran correlación que existe entre la clase de suelos y la forma del relieve, y a que se ha usado observaciones de comprobación (barrenaciones o sondeos) para verificar la homogeneidad de los suelos dentro de las unidades geomorfológicas.

1.5. Significación de clases de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz.

1.5.1. Muy apto (S1)

Unidades de tierra sin limitaciones o con hasta 4 limitaciones leves. Sin ninguna práctica o manejo de mejora del suelo se espera un rendimiento del cultivo de maíz de más del 80% del máximo rendimiento potencial, para las variedades en estudio. Por lo que en esta clase no se considera necesaria ninguna mejora (Van Ranst, 1991).

Esta tierra no tiene limitaciones significativas para una aplicación sostenible de su uso determinado (cultivo de maíz) o solo tiene limitaciones menores que no reducirán significativamente la productividad o los beneficios y no requerirá de insumos por encima de los niveles aceptables (FAO, 1983).

1.5.2. Moderadamente apto (S2)

Unidades de tierra con más de 4 limitaciones leves y/o no más de 3 limitaciones moderadas. Sin ninguna práctica o manejo de mejora del suelo se espera un rendimiento del cultivo de maíz de entre 40-80 % del máximo rendimiento potencial para las variedades en estudio. Por lo que las mejoras necesarias para poder obtener por lo menos el 80 % del rendimiento potencial, son económica y técnicamente prácticas para realizar (Van Ranst, 1991).

Tierras con limitaciones que en conjunto son moderadamente severas para una aplicación sostenible de su uso determinado. Estas limitaciones reducirán la productividad o los beneficios e incrementaran los requerimientos de insumos, para extender la ventaja que en general se puede obtener de este uso, aunque sigue siendo atractivo será apreciablemente inferior a lo esperado en la clase de tierra S1 (FAO, 1983).

1.5.3. Marginalmente apto (S3)

Unidades de tierra con más de 3 limitaciones moderadas y una o más limitaciones severas. Sin ninguna práctica o manejo de mejora del suelo se espera un rendimiento del cultivo de maíz de entre el 20-40 % del máximo rendimiento potencial para las variedades en estudio. Por lo que las mejoras necesarias para poder obtener por lo menos el 80 % del rendimiento potencial, son técnicamente prácticas, pero económicamente rentables solo bajo circunstancias favorables (Van Ranst, 1991).

Tierras con limitaciones que en conjunto son severas para una aplicación sostenible para su uso determinado y se reducirá la productividad y beneficios

o incrementará los requerimientos de insumos, cuyos costos serán solo marginalmente justificados (FAO, 1983).

1.5.4. Actualmente no apto pero potencialmente apto (N1)

Unidades de tierra con muy severas limitaciones que pueden ser corregidas. Se espera un rendimiento del cultivo de maíz de entre 0 y 20 % del máximo rendimiento potencial para las variedades en estudio. Las limitaciones son muy difíciles de superar, solo en condiciones especiales podría justificar esta inversión, como por ejemplo un cultivo muy rentable (Van Ranst, 1991).

Tierras que tienen limitaciones que pueden ser superables en el tiempo, pero que no pueden ser corregidas con el conocimiento existente en la actualidad a un costo aceptable. Las limitaciones son muy severas como para imposibilitar el exitoso uso sostenible de la tierra con este uso dado (FAO, 1983).

1.5.5. No apto (N2)

Unidades de tierra con muy severas limitaciones que no pueden ser corregidas. Se espera que el cultivo de maíz no produzca rendimiento alguno en estas tierras. Las limitaciones no pueden ser superadas con insumos o prácticas de manejo (Van Ranst, 1991).

Tierras que tienen limitaciones que parecen tan severas como para impedir cualquier posibilidad de un uso sostenible exitoso de la tierra con el uso determinado (FAO, 1983).

2. Validación

Es el proceso de comparar la salida del modelo con el comportamiento del fenómeno. Es decir compara la ejecución del modelo con la realidad. Sustentación de que un modelo para computadora, con su dominio de

aplicación, posee un rango satisfactorio de precisión consistente con la aplicación para la que se desea el modelo (Schlesinger *et al.*, 1979).

2.1. Procedimiento de validación

2.1.1. Evaluación del modelo

Se evaluó las diferentes etapas de la metodología de generación del mapa de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), de acuerdo a bibliografía especializada, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Evaluación de la estructura lógica del modelo, es decir, las matrices de calificación del modelo están acorde con la metodología de evaluación de tierras.
2. Los parámetro calificados (características de suelos y climáticas de la base de datos del mapa de suelo y clima) y su influencia sobre las unidades de aptitud de uso para el cultivo de maíz, son adecuados para este tipo de evaluación de tierras.
3. Los rangos de los requerimientos del cultivo y su significación en el grado de limitación para el cultivo de maíz son correctos.

2.1.2. Muestreo

a. Estrategia de muestreo

Las medidas, al igual que los modelos, son también abstracciones de la realidad. Por tanto, al igual que en la modelización, es imprescindible diseñar la estrategia de muestreo de forma adecuada a los parámetros que van a medirse y a los objetivos de la campaña de muestreo (Sarria y Palazón 2008).

Sitios de muestreo para validación

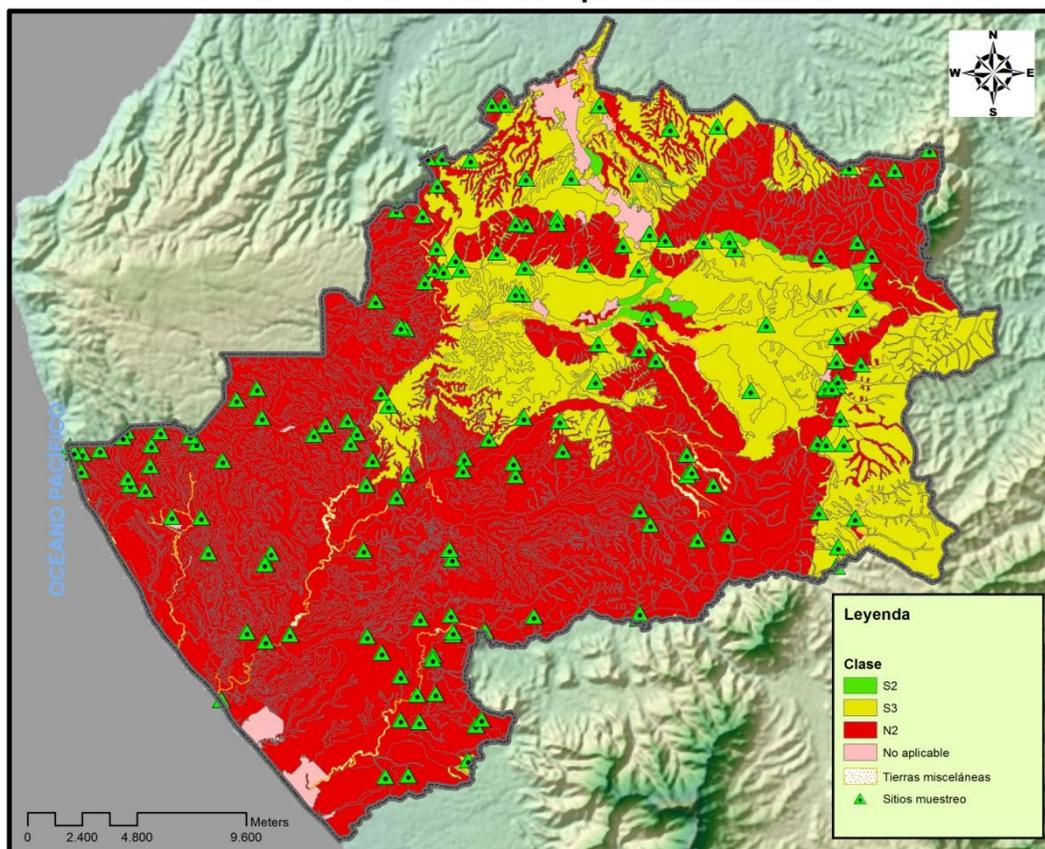


Figura 3.8. Distribución espacial de los sitios de muestreo en el cantón Montecristi

Para realizar el muestreo se seleccionó en gabinete los sitios de muestreo, uno por cada unidad de geomorfológica, tomando en cuenta también los diferentes rangos de pendientes, representatividad de la unidad, accesibilidad (cercanía vías), tratando de cubrir homogéneamente la superficie del cantón como se muestra en la figura 3.8.

La información de las características físicas y químicas del suelo levantadas en campo se anotó en las fichas correspondientes, junto con los resultados de laboratorio de los análisis que se tomaron de cada sitio de muestreo según el cuadro 3.3. Esta ficha de campo luego fue tabulada y evaluada en gabinete para la determinación de la clase de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de cada unidad incluida en el muestreo, según la metodología de la FAO, 1976.

Cuadro 3.3. Determinaciones realizadas en el Laboratorio de Suelos

Tipo de análisis	Elemento	Unidad (*)	Adicionales	Cantidad de Muestra
A	pH		1. Si la conductividad eléctrica (C.E.) es mayor a "2 mmhos/cm" y se tenga un pH mayor a 7,5 se debe realizar el análisis tipo "S". 2. Si el pH sea menor a 5.5 se realizará el análisis de acidez libre, y cuando sea menor de 4.5 se realizará aluminio intercambiable.	1 kg
	N	ppm		
	P	ppm		
	K	meq/100g		
	Ca	meq/100g		
	Mg	meq/100g		
	S	ppm		
	Fe	ppm		
	Cu	ppm		
	Mn	ppm		
	Zn	ppm		
	B	ppm		
	suma de bases	meq/100g		
	materia orgánica (MO)	%		
	textura	% y (clase textural)		
B	pH		1. Si la conductividad eléctrica (C.E.) sea mayor a "2 mmhos/cm" y se tenga un pH mayor a 7,5 se debe realizar el análisis tipo "S". 2. Si el pH sea menor a 5.5 se realizará el análisis de acidez libre, y cuando sea menor de 4.5 se realizará	1 kg
	N	ppm		
	P	ppm		
	K	meq/100g		
	Ca	meq/100g		
	Mg	meq/100g		
	suma de bases	meq/100g		
	materia orgánica (MO)	%		
	textura	% y (clase textural)		
	conductividad eléctrica (C.E.)	dS/cm		
C	CO ₃	meq/100g	No aplica	En la muestra A o B
S	pH (salinidad en pasta saturada)		No aplica	En la muestra A o B
	CE (salinidad en pasta saturada)	dS/cm		
	Na (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	K (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	Ca (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	Mg (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	CO ₃ H (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	CO ₃ (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	SO ₄ (salinidad en pasta saturada)	meq/100g		
	RAS (salinidad en pasta saturada)			
	PSI (salinidad en pasta saturada)			
F1	Densidad aparente (Da)	g/cm ³	No aplica	Cilindro de Da
F2	Capacidad de campo	g/g	No aplica	1 kg
	Punto de marchitez permanente	g/g		

(*) Unidades utilizadas en la fuente

Fuente: IEE 2, 2011

2.1.3. Calificación

Se calificó cada una de las variables de suelos y clima levantadas en campo, con las diferentes matrices de calificación para cada variable, según la metodología de evaluación de tierras presentada anteriormente, hasta obtener la clase aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de cada una de las unidades muestreadas.

2.1.4. Evaluación de coincidencia

Como metodología más adecuada para la evaluación del modelo, tomando en cuenta que este asigna una característica cualitativa a cada unidad de aptitud de uso de la tierra generada, no se pueden usar métodos matemáticos de evaluación del modelo, donde se comparen las medias del modelo con las de la muestra, por lo que se utilizó un análisis de la frecuencia, en el cual se evalúa la frecuencia en que coinciden las unidades generadas por el modelo con las observadas en campo.

Para lo cual se compara las clases de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz obtenidas en los puntos de muestreo, con las clases de aptitud de uso de las tierras que les corresponde en el mapa obtenido mediante el modelo, poniendo el número 1 si existe coincidencia entre las clases y 0 si no hay coincidencia, como se muestra en el cuadro 3.2. Para luego evaluar la frecuencia de coincidencia (es decir el número de veces que se presenta dicha coincidencia y cuando no) entre las clases muestreadas y las predichas.

La frecuencia de coincidencia relativa (f_i) se calcula según la fórmula:

$$f_i = \frac{n_i}{N}$$

Donde:

n_i = es la frecuencia absoluta, es decir el número de veces que se ha producido la coincidencia

N = número total de observaciones

Una vez establecido la frecuencia de coincidencia debemos establecer el intervalo de confianza (p), mediante el análisis estadístico de la inferencia en la proporción de coincidencias, para lo cual seguimos los siguientes cálculos (Agresti, 1996):

Se calcula el error estándar de la proporción de coincidencia con la siguiente fórmula para una confianza del 95 %.

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{fi(1 - fi)}{n}}$$

Luego mediante la siguiente fórmula, estableceremos un rango de coincidencia entre la muestra y las unidades del mapa es decir para el cual, el mapa se ajusta a la realidad con una confianza del 95 %

El intervalo de confianza es igual a:

Para el 95 % de confianza $Z = 1,96$

$$p = fi \pm \sigma_p \times Z$$

Ahora para un valor de p cercano a 1, quiere decir que hay coincidencia entre las unidades del mapa que estamos evaluando y los puntos de muestreo, por lo que significa que el modelo de generación de mapa está reflejando la realidad. Para un p cercano a 0 quiere decir que no hay

coincidencia alguna entre el mapa generado con el modelo y los puntos muestreados en campo; si hay un valor p de 0,5 quiere decir también que el modelo no refleja la realidad expresada por los puntos de muestreo y que el 50 % de coincidencia de los puntos muestreados con las unidades del mapa, se deben únicamente al azar, ya que teniendo únicamente dos posibilidades (si o no hay coincidencia) la probabilidad de que coincidan al azar es del 50 %.

Otra metodología disponible para poder evaluar el modelo es comparando los resultados del mapa generado por el modelo que estamos analizando con los resultados de otro modelo diferente que busque el mismo objetivo. En el presente trabajo se generó un mapa de capacidad de uso de las tierras con la herramienta disponible de geoestadística para poderlo comparar con el mapa generado por el modelo en evaluación pero debido a la falta de datos para la generación de dicho mapa no fue posible compararlo con el modelo en evaluación.

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Resultados de la evaluación de suelos

En el Cantón Montecristi predominan las siguientes clases de aptitud de uso de las tierras (cuadro 3.4) para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.): la clase N2 (no apta para el cultivo de maíz) con 50.392,64 ha que es el 67,8 % del área total del cantón, la clase S3 (marginally apta) con 21.125,43 ha que representa el 28,41 % y la clase S2 (moderadamente apta) con 574,87 ha que es el 0,77 %, como se muestra en las figuras 3.9, 3.10 y mapa anexo 2.

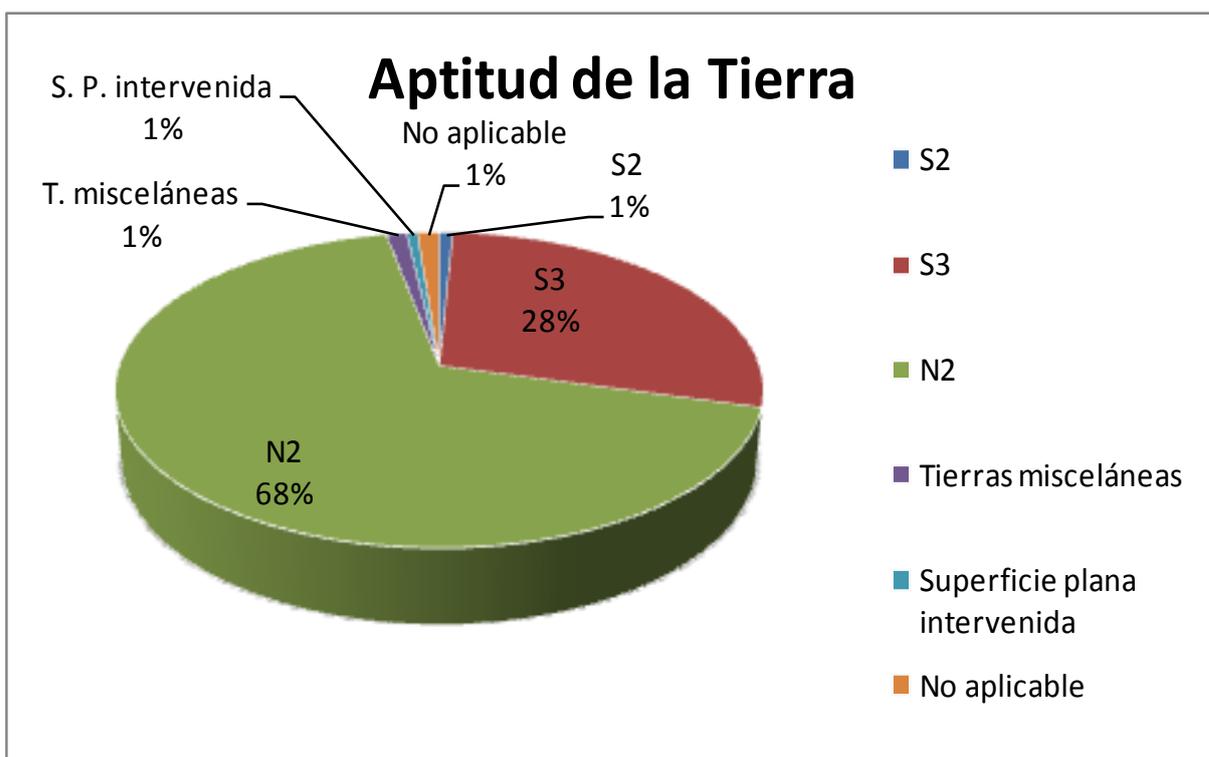


Figura 3.9. Porcentaje aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi.

Cuadro 3.4. Superficie y porcentaje de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi.

CANTÓN	CLASES DE APTITUD DE USO DE LAS TIERRAS			No aplicable*	Tierras misceláneas*	Total cantonal
	S2	S3	N2			
Montecristi	574,87	21.125,43	50.392,64	935,62	1.38,91	74.367,47
Total (%)	0,77	28,41	67,76	1,26	1,80	100,00

*No aplicable corresponde a las áreas de centros poblados y ríos dobles.

**Tierras misceláneas corresponde a terraza baja y cauce actual, playa marina, superficie plana intervenida y acantilado.

Cantón Montecristi

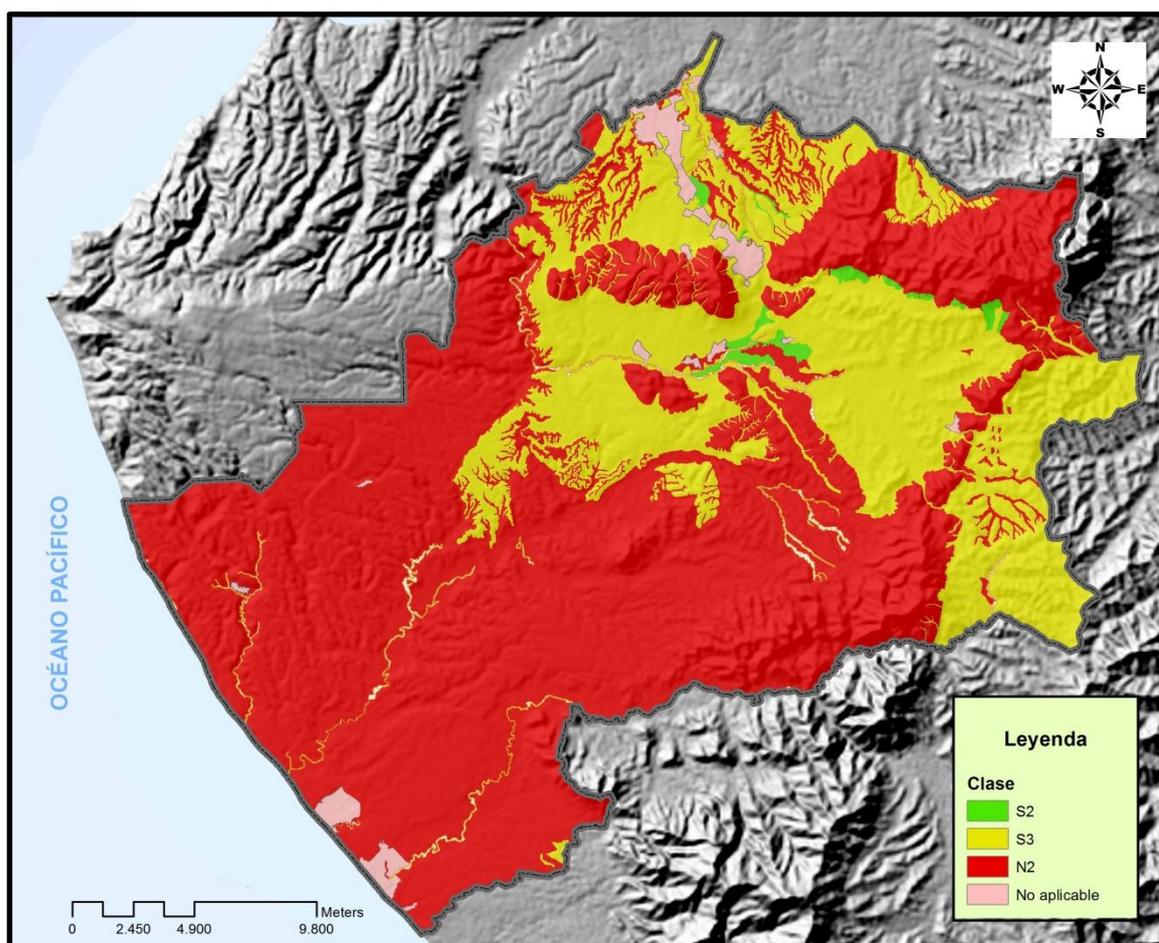


Figura 3.10. Representación geográfica de las clases de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

1.1. Orden S apto para el cultivo de maíz

1.1.1. Clase S1

En el cantón Montecristi no se encontró clase S1 de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), porque las precipitaciones anuales que ocurren en el cantón no alcanzan en ninguno de los casos a los requerimientos óptimos de agua del cultivo.

1.1.2. Clase S2

Las tierras de esta clase cubren un total de 574,87 ha, lo que representa el 0,77 % de la superficie total del cantón Montecristi. Se encuentran en relieves de poca pendiente como: valle fluvial, terraza media, glacis de esparcimiento, coluvión antiguo, y coluvio aluvial antiguo.

Cuadro 3.5. Superficie y porcentaje de la Clase S2 en el cantón Montecristi.

Clase	Subclase	Superficie (ha)	Porcentaje
S2	S2c,s	288,95	0,39
	S2c,s,f	79,12	0,11
	S2c,t,s	201,08	0,27
	S2t,c,f	5,72	0,01
Total		574,87	0,77

En el cantón esta clase de tierras se presentan en pendientes suaves (2 a 12 %). En general incluyen a suelos profundos y moderadamente profundos; tiene muy poca y ninguna pedregosidad, lo que facilita las labores de la maquinaria.

La principal limitación que determina la clase S2 es el clima (cuadro 3.5), que tiene influencia sobre el 99 % (569,15 ha) de la superficie de esta clase, ya que como se mencionó anteriormente las precipitaciones están por debajo del requerimiento óptimo para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), seguida de las limitaciones topográficas con 1 % (5,72 ha). Asociadas a

estas limitaciones también encontramos en menor cantidad, problemas leves de suelos y fertilidad.

Encontramos esta clase de tierra S2 principalmente al centro norte del cantón en terrazas medias del río de Los Bajos en las poblaciones de Bajo de Afuera, Bajo de Pechiche y la comuna Simón Bolívar, y unas pequeñas superficies en coluviones antiguos al sur de Cordillera Costera Segmento San Lorenzo-Montecristi-Portoviejo al norte del cantón.

1.1.3. Clase S3

En el cantón Montecristi la clase S3 de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) representa 21.125,43 ha correspondientes al (28,41 %). Se presenta en varias formas de relieves como: coluvio aluvial antiguo, coluvión antiguo, glacia de esparcimiento, planicie costera, relieve colinado bajo, relieve colinado muy bajo, relieve ondulado, superficie de cono de deyección antiguo, superficie de mesa marina, superficie disectada de mesa marina, terraza alta, terraza media, valle fluvial, vertiente de mesa marina. En esta clase de tierra el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) sería marginal en las condiciones naturales, por lo que si queremos aumentar la productividad aumentarían los costos de producción, ya que se debe implementar prácticas de manejo de suelo y agua.

Las tierras de esta clase se encuentran en pendientes de hasta el 25 %, por lo que pueden presentar evidencia de erosión ligera. Son tierras moderadamente profundas, sin o con baja pedregosidad que limitan en cierta medida las labores de maquinaria agrícola.

El factor limitante más fuerte que condiciona la aptitud de estos suelos para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la clase S3 también es el clima (cuadro 3.6), con un 38 % (8.134,02 ha) de la superficie que abarca esta clase, seguido de las limitaciones topográficas con el 31% (6.524,38 ha) y por último

las de suelo con 30 % (6.467,03 ha). Asociadas a estas tenemos también limitaciones de fertilidad.

Para poder cultivar maíz (*Zea mays* L.) eficientemente en esta clase de tierra, se debe realizar obras de ingeniería para implementar primeramente sistemas de riego para las unidades productivas que tengan únicamente esta limitación, para las áreas en que el factor limitante sea la pendiente (hasta 25 %) se debería cultivar con técnicas de labranza reducida para evitar la erosión, además con un manejo eficiente del riego y la fertilización se puede evitar y remediar los problemas de toxicidad por salinidad o alcalinidad de los suelos.

Cuadro 3.6. Superficie y porcentaje de la Clase S3 en el cantón Montecristi

Clase	Subclase	Superficie (ha)	Porcentaje
S3	S3c,f,s	125,12	0,17
	S3c,f,t	182,64	0,25
	S3c,h,s	45,66	0,06
	S3c,S	349,76	0,47
	S3c,s,f	2.967,23	3,99
	S3c,s,t	479,58	0,64
	S3c,t,f	569,03	0,77
	S3c,t,s	3415	4,59
	S3s,c	1.656,03	2,23
	S3s,c,f	820,13	1,10
	S3s,c,t	3.770,53	5,07
	S3s,f,c	11,09	0,01
	S3s,t,c	209,25	0,28
	S3t,c,s	6.095,03	8,20
	S3t,s,c	429,35	0,58
Total		21.125,43	28,41

Esta clase de tierra se encuentra al norte del cantón a ambos lados de la ciudad de Montecristi, en el centro norte del cantón al sur de la Cordillera Costera Segmento-San Lorenzo-Montecristi-Portoviejo, y al extremo este del cantón entre la Cordillera Costera Segmento Membrillal y el límite con el cantón Portoviejo.

1.2. No apta para el cultivo de maíz

1.2.1. Clase N1

En el cantón Montecristi no se encontró la clase de aptitud N1 debido a que en las características del suelo que pueden ser modificadas según la metodología utilizada, como son por ejemplo: capacidad de intercambio catiónico o conductividad eléctrica, no presentan en el cantón los valores requeridos para esta clase.

En el caso del clima, la precipitación que es una limitación que condiciona grandemente la aptitud del suelo para el maíz (*Zea mays* L.) y otros cultivos y la metodología utilizada no considera que las limitaciones climáticas severas pueden llegar a ser corregibles, es decir que haya la clase N1, ya que es una metodología de evaluación de aptitud de tierras para cultivos en sistema de producción de secano.

1.2.2. Clase N2

Las tierras de esta clase agrológica de aptitud, representa 50.392,64 ha, correspondientes a 67,76 % del área total del cantón Montecristi (cuadro 3.7). Se presentan en varias formas de relieves como: abrupto de cono de deyección antiguo, cerro testigo, encañonamiento de mesa marina, escarpe de mesa marina, garganta, relieve colinado alto, relieve colinado muy alto, que son formas de relieve que están relacionados con la limitación topográfica por las fuertes pendientes que las caracterizan; las formas de relieve: coluvio aluvial antiguo, coluvión antiguo, glacis de esparcimiento, planicie costera, relieve colinado medio, relieve colinado bajo, relieve colinado muy bajo, relieve ondulado, superficie de cono de deyección antiguo, superficie de mesa marina, superficie disectada de mesa marina, terraza alta, terraza media, valle fluvial y vertiente de mesa marina, que son formas de relieve que pueden tener una limitación topográfica moderada o nula pero su falta de aptitud se asociarán a limitaciones fuertes de clima, toxicidad o de suelos.

Cuadro 3.7. Superficie y porcentaje de la Clase N2 en el cantón Montecristi

Clase	Subclase	Superficie (ha)	Porcentaje
N2	N2c,f	4.741,97	6,38
	N2c,f,t	133,18	0,18
	N2c,n,t	96,2	0,13
	N2c,s	196,28	0,26
	N2c,s,f	9.167,07	12,33
	N2c,s,t	5.049,73	6,79
	N2c,t,f	1.568,07	2,11
	N2c,t,h	11,77	0,02
	N2c,t,s	5.827,31	7,84
	N2f,c,t	708,65	0,95
	N2f,t,c	101,99	0,14
	N2n,c,t	1.040,03	1,40
	N2n,t,s	153,27	0,21
	N2s,c	79,7	0,11
	N2s,c,f	794,85	1,07
	N2s,c,t	366,13	0,49
	N2s,t,c	606,66	0,82
	N2t,c,f	339,24	0,46
	N2t,c,s	14.455,04	19,44
	N2t,f,c	557,85	0,75
	N2t,s,c	3.147,65	4,23
N2t,s,f	1.250,00	1,68	
Total		50.392,64	67,76

Dentro de esta clase de aptitud de tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) la principal limitación es el clima con un 53 % (26.791,58 ha), seguido de las limitaciones topográficas con un 39 % (19.749,78 ha), luego en menor escala las limitaciones de suelo con 4% (1.847,34 ha), toxicidad 2,4 % (1.193,3 ha) y fertilidad 1,6 % (810,64 ha).

La clase N2 está distribuida extensamente por todo el cantón Montecristi, pero mayormente sobre la mitad sur del cantón, al norte corresponde a los relieves altos de la Cordillera Costera segmento San Lorenzo-Manta-Montecristi y también se encuentra intercalada con la clase S3 alrededor de la ciudad de Montecristi.

2. Principales limitaciones que afectan al cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi.

2.1. Clima

Áreas de Precipitación

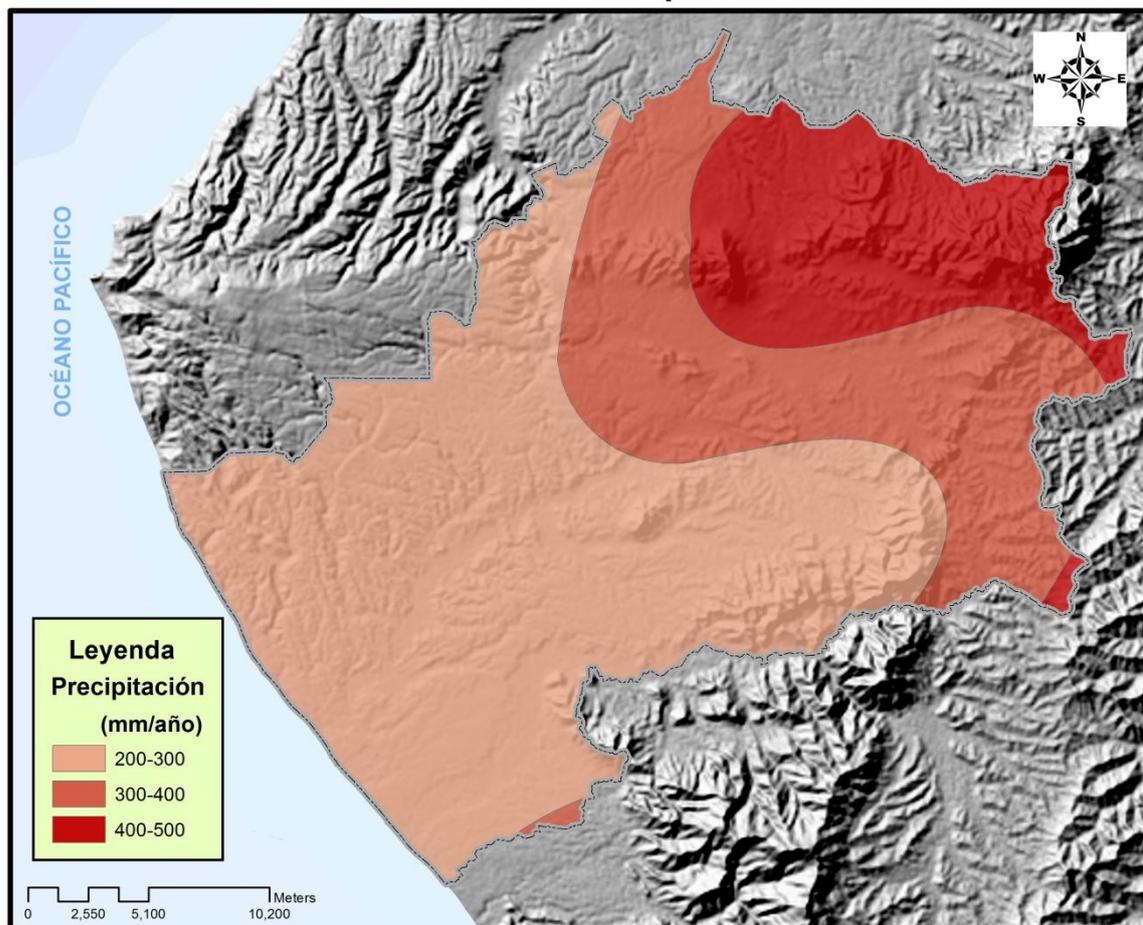


Figura 3.11. Mapa de isoyetas del cantón Montecristi

Como podemos observar en los resultados de la evaluación de tierras del cantón Montecristi, el factor limitante más extendido dentro del cantón es la baja precipitación que no permite tener tierras muy aptas (S1) para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en seco. Como lo muestra la figura 3.11, ninguna de las áreas de precipitación cumple con el requerimiento óptimo de precipitación para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) que es de 600 a 700 mm/ciclo de cultivo. Cabe aclarar que los datos de precipitación para este cantón están en mm/año pero para el caso particular de esta área geográfica, se pueden utilizar para compararlos con los requerimientos del

cultivo en mm/ ciclo de cultivo, ya que en esta zona casi toda la precipitación anual se da únicamente en invierno, es decir en la época donde se suele sembrar el maíz de secano de enero a abril, permaneciendo seco el resto del año.

Áreas actualmente cultivadas con maíz

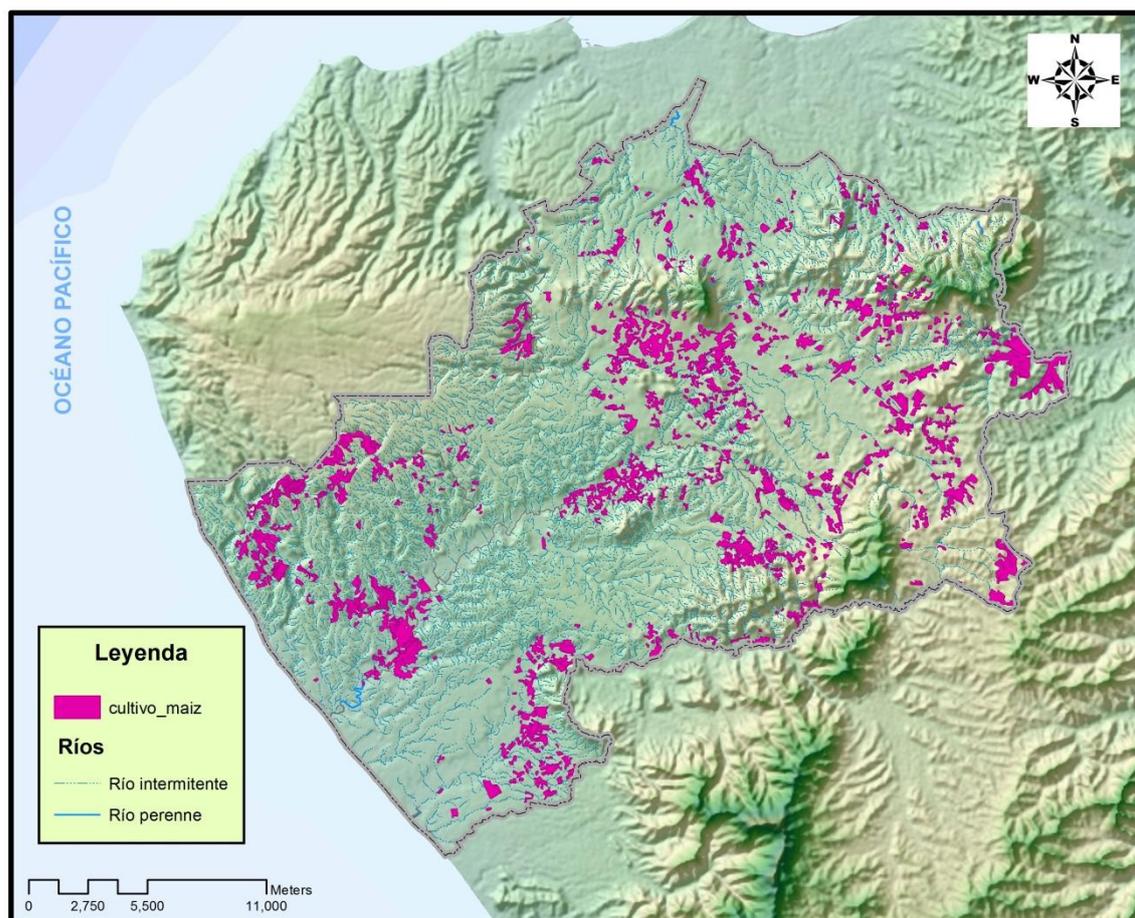


Figura 3.12. Áreas que se encuentran actualmente cultivadas con maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi

Es por este motivo que casi todo el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) que encontramos actualmente en el cantón Montecristi, está asociado espacialmente a la disponibilidad de agua, ya que se encuentran junto a la red fluvial que atraviesa dicho cantón tanto a ríos principales perennes, como a ríos secundarios intermitentes. En la parte norte y noroeste en relieves un poco más escarpados de la Cordillera Costera, que están expuestos a erosión, pero que cuentan con precipitaciones un tanto más

elevadas para el cultivo. Mientras que en la parte oeste, central y sur oeste el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se encuentra en tierras planas, más aptas para la agricultura como terrazas, valles fluviales o superficies de mesas marinas, pero que dependen únicamente de las precipitaciones invernales, como se puede observar en la figura 3.12.

De las tierras no aptas (N2) para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se han seleccionado las que únicamente tienen la limitación del clima (precipitaciones), y que cumplen con el resto de condiciones físicas y químicas de suelo para sustentar al cultivo de maíz y se las ha designado como áreas potencialmente regables, las cuales en el supuesto de contar con riego podrán convertirse en tierras moderadamente aptas (S2) y muy aptas (S3) para el cultivo de maíz figura 3.13.

Áreas potencialmente regables

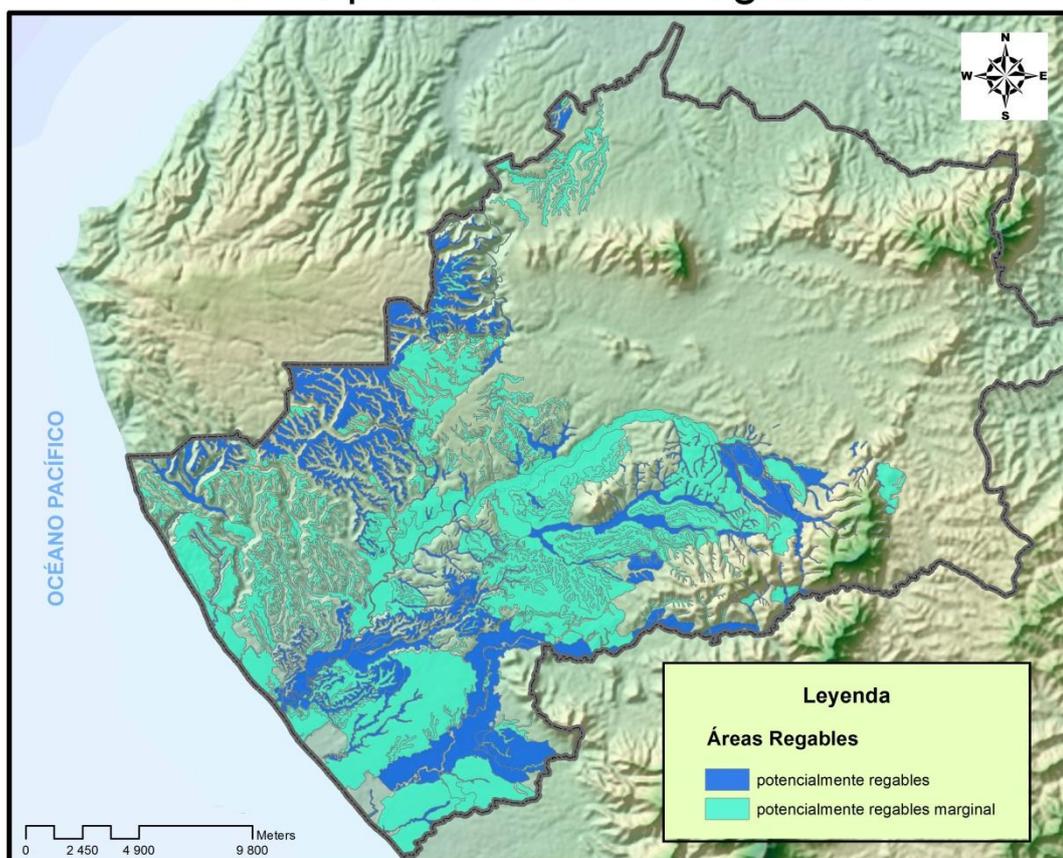


Figura 3.13. Áreas potencialmente regables en el cantón Montecristi

También se han seleccionado igualmente de la clase N2 las unidades que tienen además de una limitación grave de clima, una o varias limitaciones leves o moderadas topográficas, de suelo y/o fertilidad; y se las ha designado como áreas potencialmente regables marginales, es decir, que para poder producir maíz (*Zea mays* L.) eficientemente en ellas se debe invertir a más de en un sistema de riego, en corregir las otras limitaciones, por lo que se debe analizar muy bien si la inversión que hay que hacer en estas tierras generará el incremento en la producción y en los correspondientes beneficios que justifiquen dicha inversión, o si tal vez se tendrá que cambiar por un cultivo para el que también sea apto esta tierra y que sea mucho más rentable que el maíz, para poder recuperar la inversión y obtener ganancias, considerando también si se lo podrá hacer de una manera sostenible en el tiempo y que no ponga en peligro el medio ambiente.

Como podemos ver en la figura 3.13, estas áreas potencialmente regables y marginalmente regables son relativamente extensas 8.904,48 ha y 17.123,52 ha respectivamente, lo que equivale al 35 % del total del área del cantón Montecristi, por lo que de contar con riego el cantón cuenta con potencialidad de ser un cantón productor de maíz (*Zea mays* L.) importante.

Pero hay que tomar en cuenta que para poder desarrollar estas áreas habrá que hacer una evaluación de estos suelos de acuerdo a su aptitud para el riego, por lo que se tendrá que considerar el sistema de riego que se puede o quiere implementar en cada caso y de acuerdo a esto analizar las diferentes características que determinan la aptitud al riego, como por ejemplo: la textura del suelo, el drenaje superficial e interno, la pendiente, el contenido de sales entre otras.

2.2. Topografía

Mapa de pendientes

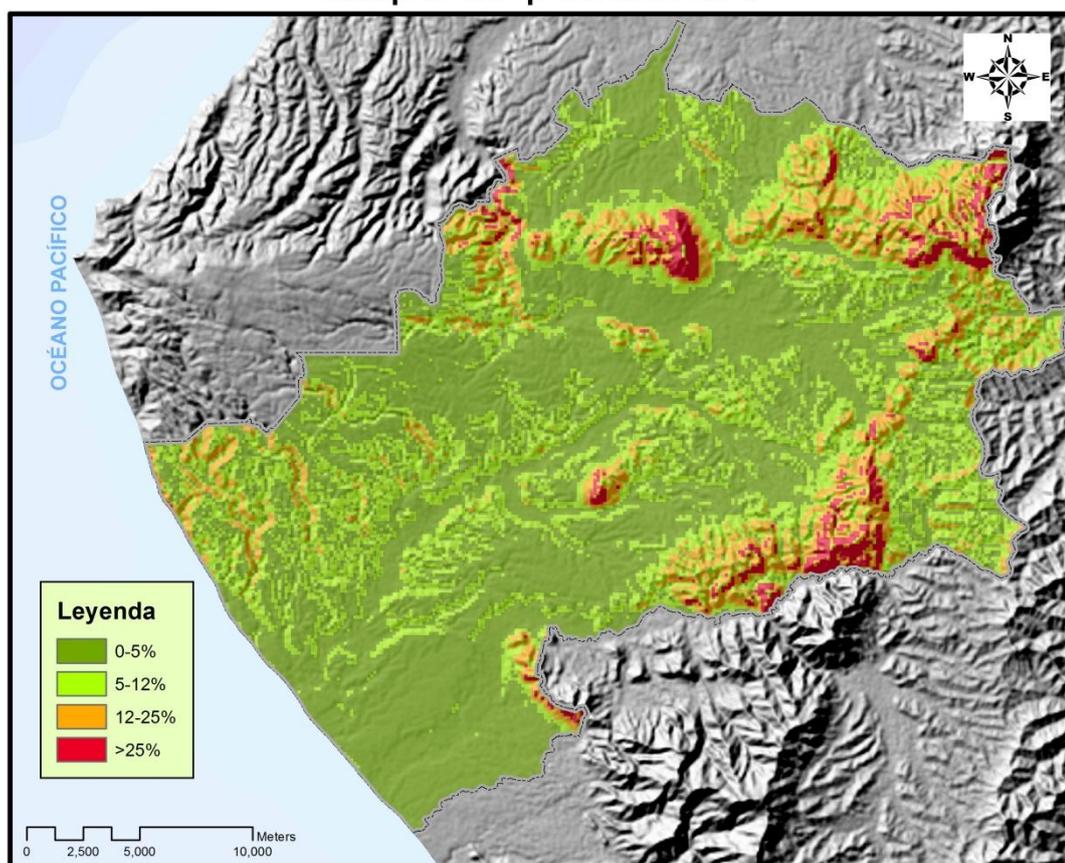


Figura 3.14. Mapa de pendientes del cantón Montecristi

Después del clima el segundo factor limitante para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es el topográfico, es decir la pendiente, como se puede observar en la figura 3.14. Aunque en general el cantón Montecristi no tiene un paisaje muy accidentado, en el norte y el este del cantón, está presente una pequeña Cordillera Costera, que a pesar de no pasar de 600 m.s.n.m. ha generado formas de relieve colinadas con pendientes desde el 25 % hasta mayores del 100 %, lo que representa un riesgo de moderado a grave de erosión de esos suelos de ser cultivados con maíz. Debido a que el manejo técnico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de fuerte pendiente, requiere de obras de ingeniería complicadas que además son muy costosas, como por ejemplo las terrazas, no se recomienda cultivar maíz a pendientes mayores de 25 %, para pendientes menores se puede

utilizar técnicas de labranza cero, reducida y prácticas mecánicas de conservación de suelos como zanjas de desviación, terrazas de acumulación lenta, cultivar con curvas de nivel, etc., que no son prácticas muy costosas, para evitar la erosión; todo esto analizando muy bien la relación beneficio costo entre lo que invertimos en estas obras y el beneficio económico que obtendremos del cultivo.

Del mapa de pendientes (figura 3.14) se obtuvo los siguientes resultados: superficies planas a pendiente muy suave de 0-5 %, ocupa 19.555,99 ha que corresponden al 26,3 % del total del área del cantón y que representan tierras clase S1 para esta variable, asociado a geoformas planas como superficie de mesa marina, superficie disectada de mesa marina y depósitos aluviales como terrazas y valles fluviales; pendientes suaves del 5-12 % con 17.657,62 ha que es el 23,7 % del total del cantón, que corresponden a superficies de conos de deyección, vertientes de mesas marinas y depósitos coluvio aluviales, que representan la clase S2 para la variable topográfica; luego encontramos pendientes medias del 12-25% con 15.933,08 ha asociadas a relieves ondulados y relieves colinados bajos que es el 21,42 % del área total y que representan a la clase S3 de aptitud para el cultivo de maíz para esta variable; luego también pendientes medias a fuertes, fuertes y muy fuertes >25% que determinan la clase N2 de aptitud de las tierras para esta variable, están asociados a relieves colinados medios altos, muy altos y escarpados de la Cordillera Costera con 19.820,49 ha el 26,65% del total del cantón.

2.3. Suelo

También encontramos algunas limitaciones de suelo como por ejemplo, la profundidad efectiva muy localizado en las vertientes y drenajes de los relieves colinados debido a la erosión a la que estos están expuestos, como lo podemos observar en la figura 3.15, principalmente al norte y este del cantón asociados a la Cordillera Costera que allí se encuentra y unas

pequeñas áreas al sur y suroeste en gargantas y drenajes de las superficies disectadas de mesa marina.

Limitante profundidad efectiva

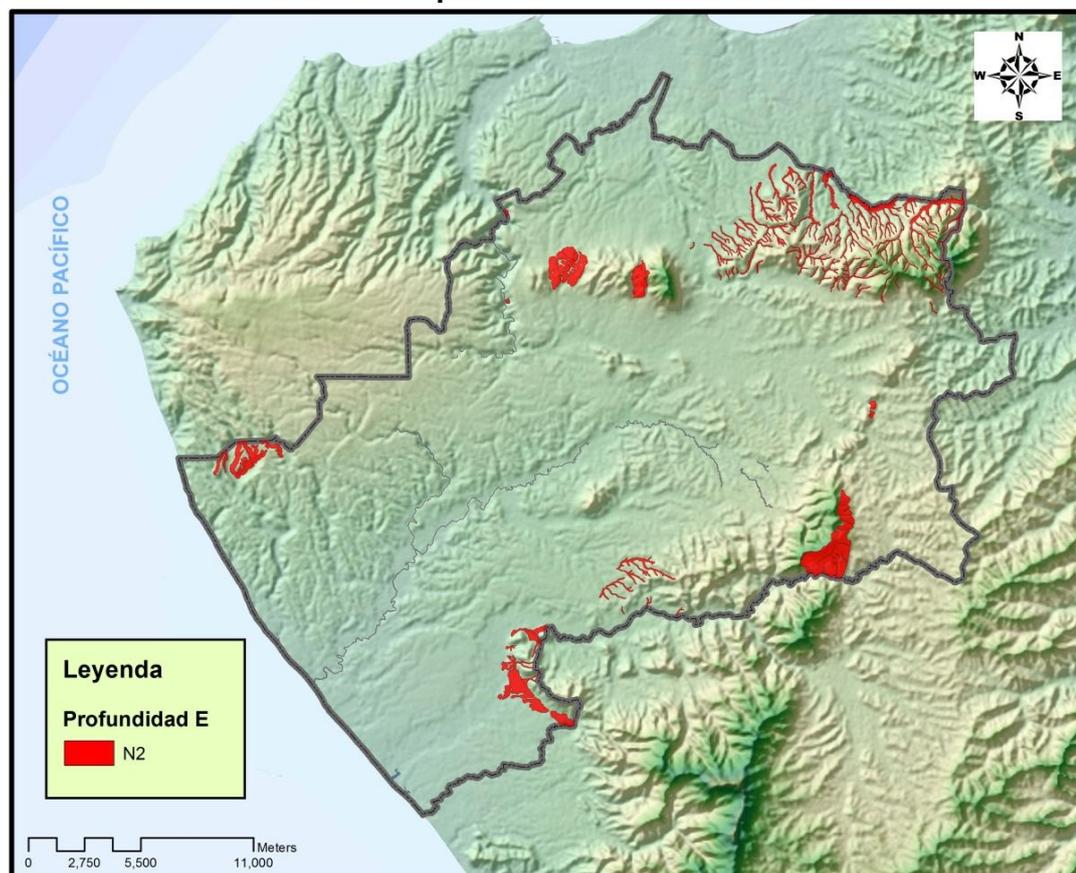


Figura 3.15. Áreas con graves problemas por profundidad efectiva en el cantón Montecristi

2.4. Fertilidad

En cuanto a fertilidad natural del suelo, en general no hay muchas limitaciones graves para las variables de fertilidad como por ejemplo, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, suma de bases, etc., como podemos ver en la figura 3.16, que representa el contenido de materia orgánica en el suelo del cantón Montecristi, la cual es mayoritariamente alta dentro del cantón, por lo que en general las tierras del cantón desde el punto de vista de fertilidad son bastante aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), con excepción de

áreas erosionadas relacionadas con fuertes pendientes y en suelos del orden Aridisoles, en los cuales por sus propias características de formación en zonas áridas y poca cobertura vegetal no presentan acumulación de materia orgánica, lo que ocurre en la parte norte del cantón junta a la ciudad de Montecristi.

Mapa de materia orgánica

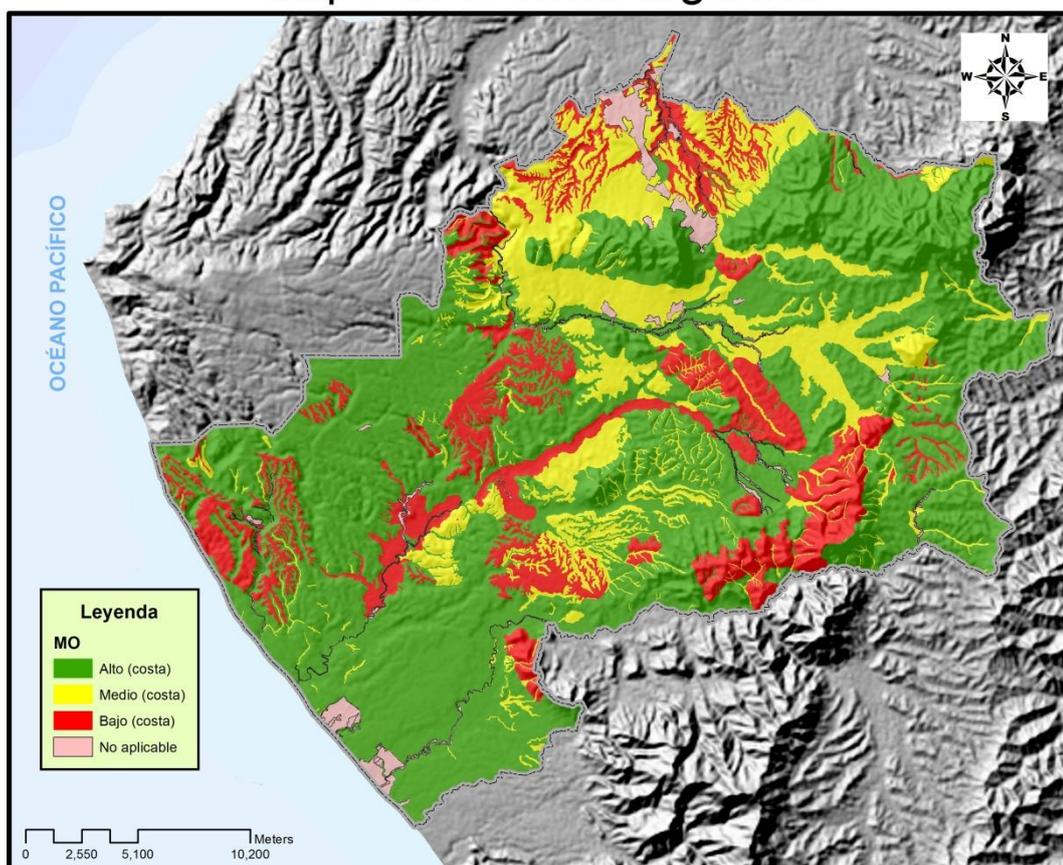


Figura 3.16. Contenido de materia orgánica en el cantón Montecristi

Otra limitación de fertilidad que ocurre en pequeñas áreas localizadas al norte del cantón Montecristi (figura 3.17), es el pH alcalino, el cual no es apto para los requerimientos del cultivo de maíz, esta limitación se da por el origen litológico del suelo, a partir de la formación Tablazo que contiene acumulación de carbonatos (ver litología). En general el pH del suelo en el cantón Montecristi va desde neutro hasta alcalino, debido al origen del material parental del que se formó el suelo y al clima que ha condicionado la formación de este, que ha sido escasas de lluvias, lo que ha permitido que se acumulen

sales y bases, por lo que también se puede encontrar pequeñas áreas con acumulación de carbonatos de calcio y de yeso que pueden ser tóxicos para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y para otros cultivos, también es claro que en este cantón no se podrá cultivar los cultivos que requieran condiciones de pH por debajo de la neutralidad.

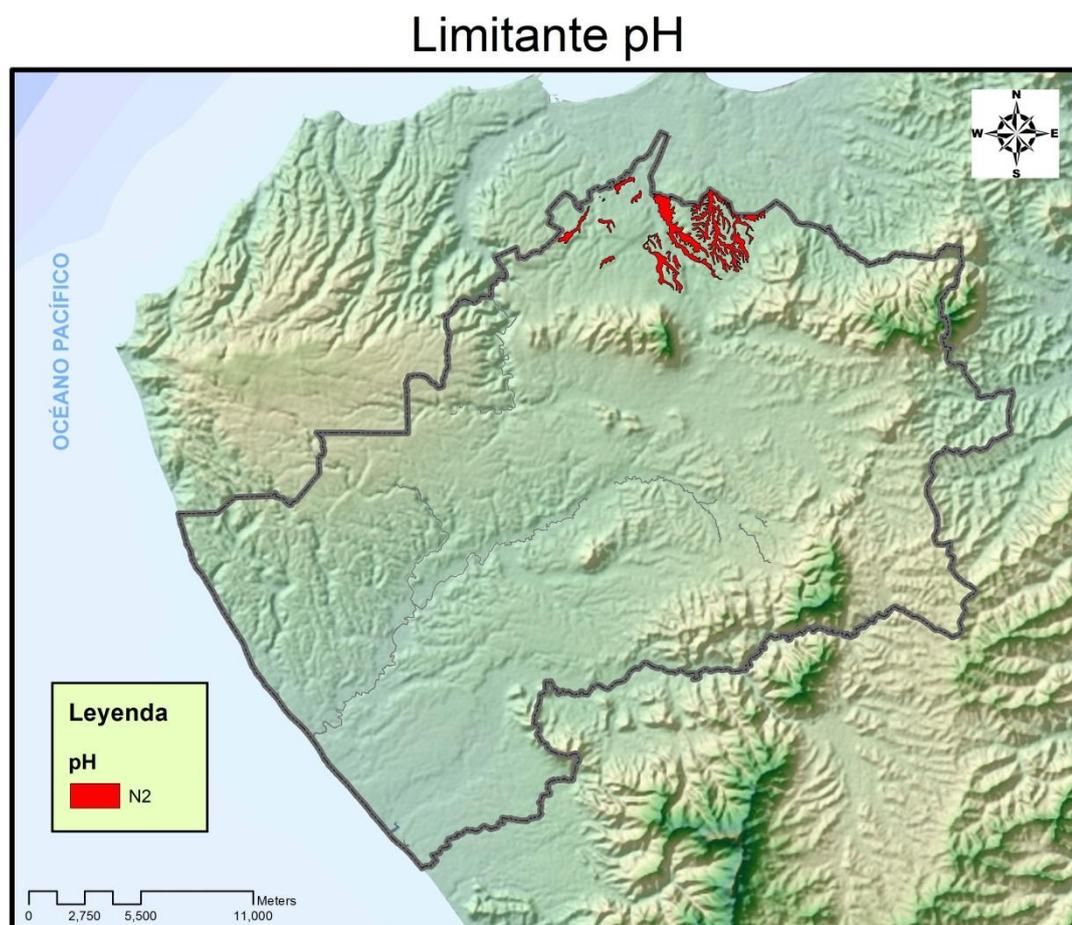


Figura 3.17. Áreas de tierra no aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi por el pH

Es por este motivo que el riego en el cantón Montecristi se lo debe hacer técnicamente y con constante monitoreo, además con un manejo del drenaje adecuado, ya que si se lo hace de manera equivocada se puede empeorar aún más las condiciones de toxicidad del suelo, por su contenido de cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, que mediante el riego, por capilaridad o por el aumento del nivel de la capa freática pueden subir a las capas más superficiales del suelo, afectando al cultivo o volviendo tóxicas áreas que por

el momento no lo son, porque actualmente los horizontes de acumulación de sales y carbonatos están, por debajo de los horizontes donde se desarrollan las raíces del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

2.5. Litología (IEE 1, 2011)

La litología está estrechamente relacionada con las formas de relieve y con las propiedades físicas y químicas de los suelos que se formaron a partir de este material parental. En Montecristi encontramos la siguiente litología (figura 3.18):

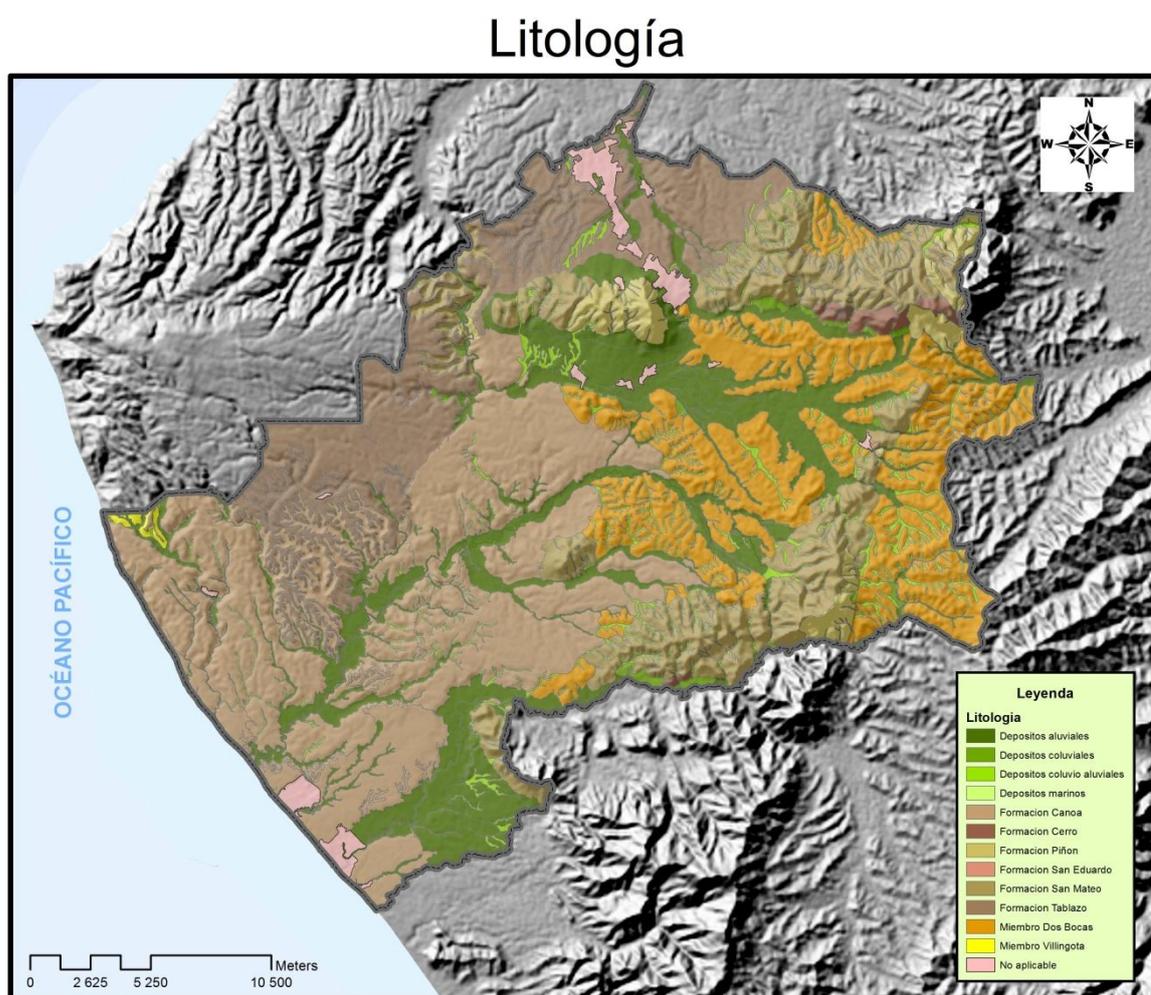


Figura 3.18. Litología del cantón Montecristi

Formación Piñón.- Este tipo de rocas se encuentran aflorando en dirección noreste del cantón y en la parte centro norte, formando relieves colinados altos y muy altos de limitada extensión, los cuales presentan cimas agudas y pendientes fuertes.

Debido a las fuertes pendientes presentan suelos muy erosionados o muy susceptibles a la erosión generalmente Entisoles, que tienen un contacto lítico en los primeros 50 cm de suelo como por ejemplo Lithic Ustorthents, estos suelos a pesar de estar ubicados en un sector con mayor precipitaciones no son aptos para el cultivo de maíz por la limitación topográfica, poca profundidad efectiva y alto riesgo de erosión del suelo.

Formación Cerro.- Los relieves de esta formación se encuentran ubicados en la parte noreste y en el límite centro sur del cantón, formando relieves colinados medios y altos. Dan origen a suelos principalmente del orden de los Inceptisoles como Typic Haplustepts, de texturas francas a franco arcillosas, y de buena profundidad efectiva, pero debido a sus pendientes medias a fuertes no son totalmente aptos para el cultivo del maíz, por lo que de cultivarlo en estas áreas debería ser bajo labranza cero o reducida.

Formación San Mateo.- Las geoformas características de esta formación son: relieves colinados altos, medios y vertientes de mesa marina, Este tipo de relieves se encuentran ubicados en la parte noreste, al extremo noroeste y al sureste del cantón.

Debido a la variedad del material parental de esta litología, de ella se han desarrollado diferentes tipos de suelos, de texturas principalmente francas pero también franco arcillosas los que se formaron a partir de las lutitas y franco arenosas los que provienen de las areniscas; suelos poco profundos, siendo esta junto con las pendientes fuertes, toxicidad por carbonatos las principal limitación para el cultivo de maíz en estas áreas.

Formación Tosagua.- Esta formación tiene dos miembros:

- *Miembro Dos Bocas.*- Las geoformas se encuentran ubicadas en su gran mayoría en la parte sureste del cantón y en un menor porcentaje en la parte noreste, estas forman relieves colinados medios, bajos y muy bajos. Sobre esta litología se han desarrollado suelos principalmente de texturas finas y muy finas debido a su material de origen (lutitas) por lo que son mayormente del orden Vertisoles, como Gypsic Haplusterts cuando tienen presencia de yeso, e Inceptisoles con subgrupo Vertic, como por ejemplo Vertic Haplustepts. Son suelos moderadamente aptos para el cultivo de maíz, pueden tener ciertas limitaciones de suelo como texturas muy pesadas, y algo de toxicidad por yeso, además de moderadas limitaciones topográficas por sus pendientes medias.
- *Miembro Villingota.*- Se encuentran localizadas en una pequeña área en la parte oeste de Montecristi en el límite con el cantón Manta, forman relieves colinados bajos, medios y vertiente de mesa marina, con pendientes medias, presencia de carbonatos, suelos poco profundos principalmente Molisoles e Inceptisoles como Typic Calciustolls y Udic Calciustepts respectivamente, por todas estas condiciones de suelo y topográficas sumadas al clima estas áreas no son aptas (N2) para el cultivo de maíz.

Formación Canoa.- Esta formación cubre gran parte del cantón Montecristi se extiende desde el centro hacia el oeste y hacia el sur del mismo, está formando relieves colinados bajos, superficies disectadas de mesa marina, vertientes de mesa marina y gargantas. Sobre esta litología se han desarrollado gran variedad de suelos por la diversidad de materiales que la conforman, presenta limitaciones topográficas únicamente en las gargantas, vertientes de mesa marina, y relieves colinados bajos, cuando se asocia a la formación Tablazo presenta suelos con acumulación de carbonatos lo que determinan una aptitud marginal S3 para el cultivo de maíz especialmente hacia el centro del cantón,

hacia el sur y el oeste se suman a estas la limitación de poca precipitación, por lo que los suelos ubicados en estas áreas no son aptos N2 para el cultivo del maíz.

Formación Tablazo.- Afloran principalmente en la parte norte del cantón. Sobre esta formación se han desarrollado varios tipos de suelo pero principalmente Alfisoles, Aridisoles e Inceptisoles con subgrupos Vertic y Calcic por su origen de fondo marino, por ejemplo Typic Haplustalfs, Vertic Haplocalcids y Calcic Haplustepts.

Las principales limitaciones para el cultivo de maíz sobre esta litología son: en la parte norte la baja fertilidad asociada a las características de los Aridisoles, como el pH alcalino, presencia de carbonatos y bajo contenido de materia orgánica, por lo que no son aptos (N2) para el cultivo de maíz; bajando un poco por el borde norte encontramos suelos marginalmente aptos (S3) para el cultivo de maíz, por el clima con bajas precipitaciones y limitaciones moderadas de suelo, debido a la capa endurecida que está presente en los Alfisoles; y un poco más al sur del borde norte del cantón a más de las limitaciones mencionadas anteriormente la limitación climática de escasez de agua se acentúa para el cultivo, por lo que no son aptas (N2) para el cultivo del maíz.

Los depósitos aluviales, coluviales y coluvio aluviales generalmente son las áreas más aptas para el cultivo de maíz ya que son zonas planas, con suelos de textura media a fina, con buena profundidad efectiva y alta fertilidad; por el alto contenido de materia orgánica, nutrientes y humedad, que tienen estos suelos por su origen y cercanía con la red fluvial, exceptuando los que se encuentren al sur del cantón en la zona de menor precipitación, los cuales no son aptos para el cultivo de maíz, son principalmente del Orden de los Inceptisoles y Molisoles, como por ejemplo Fluventic Haplustepts y Fluventic Haplustolls respectivamente.

3. Resultados obtenidos de la validación del mapa

Evaluación del modelo.- del análisis del modelo se observa que el mismo esta de acuerdo con el marco de referencia para la evaluación de tierras de la FAO, 1973; que los parámetros calificados y los rangos de requerimientos del maíz (*Zea mays* L.) utilizados para la evaluación de aptitud de las tierras para el este cultivo, están acorde con la bibliografía especializada (FAO, 1983), (Costantini, 2009) y (Van Ranst, 1991).

De los datos obtenidos de las observaciones en campo y de la evaluación de coincidencias que se muestran en el cuadro 3.8, se observa que la frecuencia de coincidencia es la siguiente:

$$fi = \frac{ni}{N}$$

$$fi = \frac{146}{152}$$

$$fi = 0,96$$

Lo que quiere decir que tenemos una coincidencia entre las unidades del mapa evaluadas y los sitios de muestreo del 96 %, lo cual es un grado de coincidencia bastante alto.

Ahora calculamos el error estándar de esta proporción de la frecuencia en que encontramos coincidencias con los datos muestreados, para luego poder establecer el rango de confianza p , mediante las siguientes fórmulas:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{fi(1 - fi)}{n}}$$

Para el 95 % de confianza $Z = 1,96$

$$\sigma_p \times Z = 0,031$$

$$p = fi \pm \sigma_p \times Z$$

$$p = 0,96 \pm 0,031$$

$$0,93 \leq p \leq 0,99$$

Esto quiere decir que en 95 % de las veces que hagamos este estudio vamos a tener un rango de coincidencias de entre el 93 al 99 %, entre las muestras y las unidades generadas por el modelo. Lo que quiere decir que el mapa de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz generado en el presente trabajo se ajustado a la realidad verificada en campo.

Como podemos observar en el cuadro 3.8, de las 152 observaciones hemos obtenido 146 coincidencias entre las clases obtenidas en el mapa y las encontradas en campo de las cuales no se encontraron ninguna clase S1 ni en el mapa ni en campo, se encontraron tres unidades clase S2 en campo de las cuales una estaba degradada a clase S3 en el mapa, ya que en el mapa esa unidad tenía un rango de pendiente fuerte, se encontró 29 unidades clase S3 en campo de las cuales una estaba degradada en el mapa a clase N2 debido a que se encontraba en una zona de mínima precipitación, pero el sitio donde se realizó el muestreo era una terraza que tenía influencia de la humedad del río por lo que había más humedad disponible para el cultivo, tanto en el mapa como en el muestreo no se encontró unidades con clase N1, por último en campo se encontró 120 unidades de clase N2 de las cuales 4 estaban sobrecalificada en su grado de aptitud para el cultivo de maíz en la clase S3, ya que en los resultados de análisis de laboratorio de los sitios de muestreo presentan valores tóxicos de carbonatos o salinidad que no se presentan en la base de datos del mapa de suelos que se ha calificado para obtener el mapa de aptitud.

Cuadro 3.8. Tabla de contingencia de las clases observadas y las clases predichas

		Observado en campo					
Clases de AUT		S1	S2	S3	N1	N2	total observaciones modelo
Modelo	S1	0					0
	S2		2				2
	S3		1	28		4	33
	N1				0		0
	N2			1		116	117
	total de observaciones campo	0	3	29	0	120	152

Las unidades que no coinciden se dan por tres clases de errores según el análisis de los resultados:

Equivocación en la medición de la pendiente.- debido a que la pendiente es una variable determinante al momento de evaluar la aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) un error en definir su rango implicará la obtención de una unidad mal clasificada, este error se da debido a que en unidades grandes, relieves ondulados o colinados, se pueden tener varios rangos de pendiente dentro a la misma unidad y dependiendo al sitio donde se muestree se podrá tener una clase u otra, por lo que es recomendable que la pendiente utilizada al momento de calificar la unidad sea la que predomine dentro de dicha unidad, para lo cual debemos seleccionar la pendiente predominante en la unidad, haciendo un mapa de pendientes y y escogiendo el rango de pendiente que ocupa mayor área (por lo menos el 70 %) dentro de cada unidad.

Debido a que en la base de datos del mapa no se ha detectado, para las unidades evaluadas, toxicidad por carbonatos y salinidad y si lo han reportado los análisis de laboratorio del muestreo en campo en un par de observaciones, esto puede deberse a que las áreas de toxicidad no son generalizadas y cuando se levanto la información con la que se elaboró la base de datos del mapa de suelos, se tomo muestras de sitios que no

presentan toxicidad, ya que estas son las que se presentan mayormente, además como este tipo de errores no es común se puede aceptar como parte de la variabilidad espacial normal de las características químicas del suelo, que no llegan a influir en la calidad del mapa a la escala de trabajo en la que se lo realizó.

Error en la evaluación: a pesar de que las características del suelo son correctas en la base de datos del mapa, se puede producir errores al momento de calificar las variables, estos errores son mínimos, y son fáciles de evitar teniendo cuidado el momento de la evaluación y haciendo una revisión o control de calidad del producto cartográfico.

Tomar en cuenta que por mas complicado y avanzado que sea nuestro modelo, el mapa generado será solo una aproximación mas o menos acertada de la realidad y nunca una representación exacta, ya que como menciona (Guisan y Zimmermann, 2000) la naturaleza es demasiado compleja y heterogénea para ser predicha con exactitud en cada aspecto de tiempo y espacio por un único aunque complejo modelo.

V. CONCLUSIONES

En condiciones naturales, la mayoría de las tierras agrícolas del cantón Montecristi no son aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en seco; en el estudio de zonificación no se encontró tierras muy aptas S1, para el cultivo de maíz, y las moderadamente aptas S2 (574,87 ha) y marginalmente aptas S3 (21.125,43 ha) fueron muy escasas. En cambio se encontró muchas tierras no aptas N2 (50.392,64 ha) para el cultivo de maíz.

La principal limitación para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi es la falta de agua para cubrir los requerimientos hídricos durante el ciclo de cultivo (600-700 mm/ciclo), debido a que se encuentra en una zona semidesértica con muy pocas precipitaciones (465 mm en promedio/año).

Después de las limitaciones climáticas la aptitud del cantón Montecristi para el cultivo de maíz está condicionada por las limitaciones topográficas, caracterizadas por las fuertes pendientes relacionadas con la Cordillera Costera, superiores a 25 %, lo cual dificulta las labores del cultivo y acelera la erosión del suelo.

Los suelos del cantón Montecristi por su origen litológico y por la falta de lluvias, presentan acumulación de sales y carbonatos en capas subyacentes profundas; en la actualidad no representan una limitación fuerte para el cultivo de maíz; sin embargo, en el futuro si el manejo del riego no es el adecuado, puede existir ascenso de sales y constituirse en una limitación grave para el cultivo.

El cantón Montecristi no tiene problemas graves ni de fertilidad, ni de suelo, aunque presenta pequeñas áreas muy localizadas con problemas de pH alcalino y bajo contenido de materia orgánica, relacionados con las características propias de los Aridisoles presentes al norte del cantón; poca profundidad efectiva del suelo en las áreas sujetas a erosión, en relieves colinados de la Cordillera Costera y en gargantas y drenajes de las superficies disectadas de mesa marina; y pequeñas superficies de suelo con texturas pesadas relacionadas a los Vertisoles,

localizados en la parte norte y noreste de cantón asociados al material parental del que tuvieron origen (lutitas del Miembro Dos Bocas).

Programas y proyectos de riego tecnificado, son indispensables para desarrollar la aptitud agrícola del cantón Montecristi. Debido a que se han determinado áreas cuya única limitación o la más fuerte es el clima, las mismas que de contar con riego podrían convertirse en tierras moderadamente aptas (17.123,52 ha) y muy aptas (8.904,48 ha) para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), incorporándose grandes extensiones de tierra para la producción del cultivo de maíz, con lo cual se contribuye a cubrir la demanda nacional de maíz duro y al desarrollo agrícola del cantón.

El mapa generado de aptitud de uso de las tierras para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se ajusta a la realidad.

Cada modelo funciona únicamente para el lugar y el propósito para el que se lo generó y no puede ser usado o generalizado para otros lugares o propósitos sin antes hacer un ajuste y nueva evaluación del correcto funcionamiento del mismo.

VI. RECOMENDACIONES

Impulsar programas y proyectos de riego para poder desarrollar áreas que actualmente o no son aptas o son marginalmente aptas para el cultivo de maíz. Contribuyendo así al correcto uso de las tierras y a un ordenamiento agrícola adecuado, para tener una máxima productividad del cultivo, sostenible en el tiempo y asegurando la conservación de los recursos, además de ampliar la frontera agrícola hacia áreas hoy abandonadas solo por falta de riego, dando más alternativas técnicamente sustentadas a los agricultores de la zona, y contribuyendo a solucionar el problema específico de baja producción y de falta de proyectos de riego.

Realizar un manejo adecuado del riego, la fertilización y el drenaje, ya que por las condiciones de bajas precipitaciones con un riego mal manejado se puede empeorar las condiciones de salinidad o de toxicidad por carbonatos.

Para las áreas donde no sea posible acceder a riego y que cumplan con las condiciones necesarias de suelo y fertilidad se pueden buscar otras alternativas de cultivos que requieran menos precipitaciones que el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) como por ejemplo la tuna (*Opuntia ficus-indica*) propia de áreas desérticas y que pueden utilizarse como forraje, consumir sus frutas y para biocombustible, otro cultivo prometedor en esta zona es el piñón o jatropa (*Jatropha curcas* L.) el cual puede vivir hasta con 300 mm de precipitación por año y que produce gran cantidad de aceite natural apto para ser utilizado como biocombustible o transesterificado para la fabricación de biodiesel.

Hacer un control de calidad, es decir evaluar y validar los mapas antes utilizar su temática o publicarlos.

Se debe ajustar el modelo, principalmente los requerimientos del cultivo, para utilizarlo en otras localidades, especialmente si es en la sierra ecuatoriana, donde se utiliza otras variedades de maíz, la influencia de las características evaluadas y

los sistemas de producción pueden llegar a ser muy diferentes, por lo que se requerirá nuevos parámetros de evaluación.

VII. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Agresti, A. 1996. *An Introduction to Categorical Data Analysis*. Wiley Interscience. p. 11.
- Asefa, A. 2010. *Land utilization type*. Land suitability evaluation. Agricultural land suitability evaluation for selected rainfed crops using GIS and remote sensing techniques. p. 13-21.
- Bocco, G.; Mendoza, M.; Velázquez, A. 2000. *Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping a tool for land use planning in developing countries*. Rev. Geomorphology 39 (2001). p. 211–219.
- CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos); PRONAREG (Programa Nacional de Regularización); INERHI (Instituto Nacional Ecuatoriano de Recursos Hídricos); DINAC (Dirección Nacional de Avalúos y Catastros); SECS (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo); Universidad Central del Ecuador. 1990. *Manual para estudios de suelos*. Quito, EC. p. 36-44
- Constantini, E. 2009. *Main international references*. Manual of methods for soil and land evaluation. Centro di ricerca per l' agrobiologia e la pedologia. Florence-Italy. p. 3-29
- De La Rosa, D. 2008. *Evaluación agro-ecológica de suelos*. Madrid, ES. Ediciones Mundi-Prensa. p. 176-177, 199, 208, 223, 231-252.
- Duch, J; Bayona, A; Labra, C; Gama, A. sf. *Sistema de evaluación de tierras para la determinación del uso potencial agropecuario y forestal México*. 30 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. *Land evaluation, towards a revised framework*. Food and Agricultural Organization of de United Nations, land and water discussion paper 6. Rome.
- . 2004. *Validación de los modelos de relación dosis respuesta. Directrices*. Caracterización de peligros de patógenos en los alimentos y el agua. Serie de evaluación de riesgos microbiológicos. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Organización mundial de la salud. Roma. p. 47-49.
- . 1983. *Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture*. Soils bulletin 52. Food and Agricultural Organization of de United Nations, Soil resources management and conservation service. Land an water development division. Rome.

- . 1976. *A framework for land evaluation*. Soils bulletin 32 . Food and Agricultural Organization of de United Nations, land and water discussion. Rome.
- Guarachi, E. 2001. *Clasificación de tierras según su capacidad de uso mayor en el distrito de Machaca, provincia de Ayopaya*. Tesis de maestría profesional en suelos. BO, CLAS. p. 16,18.
- Guisan, A. y Zimmermann, N. 2000. *Predictive habitat distribution models in ecology*. Ecological Modelling 135 p. 147-186.
- IEE 1 (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2011. *Memoria técnica del mapa de geomorfología del cantón Montecristi*. "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000". p.37-53. Consultado en julio de 2013. Disponible en <http://www.iee.gob.ec:8080/geonetwork/srv/es/metadata.show?id=2944&currTab=distribution>
- IEE 2 (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2011. *Memoria técnica del mapa geopedológico del cantón Montecristi*. "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000". p.262-270. Consultado en julio de 2013. Disponible en <http://www.iee.gob.ec:8080/geonetwork/srv/es/metadata.show?id=2944&currTab=distribution>
- IEE 3 (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2011. *Memoria técnica del mapa de capacidad de uso de las tierras cantón Montecristi*. "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000". p.39-69. Consultado en julio de 2013. Disponible en <http://www.iee.gob.ec:8080/geonetwork/srv/es/metadata.show?id=2944&currTab=distribution>
- IEE 4 (Instituto Espacial Ecuatoriano). 2011. *Memoria técnica del mapa de conflictos de uso de la tierra del cantón Montecristi*. "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000". p.17-19. Consultado en julio de 2013. Disponible en <http://www.iee.gob.ec:8080/geonetwork/srv/es/metadata.show?id=2944&currTab=distribution>
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). sf. *Clasificación de tierras por capacidad de uso*. GT. p. 9, 12.
- INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias). 2008. Cultivo de maíz. Guía técnica de cultivos. Quito-Ecuador. ficha 1-ficha 3.
- Mitchell, P.L. 1997. *Misuse of regression for empirical validation of models*. Agricultural Systems VL 54. p. 313-326. Consultado agosto 2013. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308521X96000777>

- Murillo, C. y González, B. 2000. *Manual de econometría*. Capítulo 5. Universidad de Las Palmas. España. p 2-35. Consultado julio 2013. Disponible en: [https://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6086/Manual de Econometria 5.pdf](https://www.ulpgc.es/hege/almacen/download/6/6086/Manual_de_Econometria_5.pdf)
- Rossiter, D. 2000. *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo*. Texto base. Soil Science Division. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation. p. 99-103.
- Sarria, F. y Palazón, J. 2008. *Modelización de sistemas ambientales*. Tema 6. Estimación de parámetros, validación de modelos y análisis de sensibilidad. Universidad de Murcia. P 61-66. Consultado Agosto 2013. Disponible en: <http://ocw.um.es/ciencias/modelizacion-de-sistemas-ambientales/material-de-clase-1/msa-cap-06.pdf>.
- Soil Survey Staff. 2006. *Claves para la taxonomía de suelos*. Trad. S. Ortiz y Ma. del C. Gutiérrez. 1 ed. en español 2006. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 1 p.
- Son, N.T.; Sherestha, R. 2008. *GIS-assisted land evaluation for agricultural development in mekong delta, southern Vietnam*. Journal of Sustainable Development in Africa (Volume 10, No.2)
- Schlesinger. 1979. *Terminology for Model Credibility, Simulation*, Vol 32, 3, pag. 103-104.
- Van Ranst, E.; Debaveye, 1991. *Principles in land evaluation and crop production calculations*. International Training Centre for post-graduate soil scientists State University Gent. Belgium. p. 60-66.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Datos de los perfiles de suelos utilizados para calificar la aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en el cantón Montecristi

Codigo	Pen diete	pH	CE	MO	Text	SB	CIC	CO3	SO4	RAS	PSI	precip	Prof. Efec (cm)	Pen d. (t)	Inun daci on(h)	Dre naje (h)	Text ura (s)	F. g rues os(s)	Prof undic dad(s)	Ca C O 3(s)	CaS O4(s)	Cl C(f)	S B(f)	p H(f)	M O(f)	CE(n)	PSI(n)	Preci pitaci ón(c)	Clase de aptitud	coinc dencia
M1	40 a 70 %	7,4	0,69	3,2	Franco	36,91	37,2	0	0	0	0	200-300	45	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M2	40 a 70 %	7,4	0,74	3,2	Franco	45,4	50	0	0	0	0	300-400	30	N2	S1	S1	S1	S3	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	N2	1
M3	2 a 5 %	8,1	0,44	1,5	Franco	42,44	43	0	0	0	0	300-400	70	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M4	12 a 25 %	8,1	0,65	2,7	Franco limoso	46,71	48	0	0	0	0	300-400	40	S3	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	S3	1
M5	2 a 5 %	7,9	0,24	1,8	Franco	32,74	36	0	0	0	0	300-400	65	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M6	2 a 5 %	7,8	0,94	1,2	Franco	29,3	30	25,8	0	0	0	400-500	35	S1	S1	S1	S1	S1	S3	N2	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	N2	0
M7	5 a 12 %	7,2	0,51	2,1	Franco arcilloso	28	30	0	0	0	0	300-400	45	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	S3	1
M8	5 a 12 %	6,8	0,27	1,9	Arcilla pesada	31,6	32	0	0	0	0	300-400	55	S2	S1	S2	N2	S1	S2	S1	N2	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S3	N2	1
M9	12 a 25 %	6,6	0,44	3,2	Franco	39,57	42	0	0	0	0	200-300	25	S3	S1	S2	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	N2	N2	1
M10	2 a 5 %	7,2	4,64	1,2	Arcilloso	38,36	42	0	47,4	7,83	9,33	300-400	35	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S2	S2	S2	S1	S3	N2	1
M11	12 a 25 %	7,4	0,97	3,7	Franco	30,6	33	0	0	0	0	200-300	40	S3	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M12	5 a 12 %	7,5	0,45	1,8	Arcilloso	37	38	0	0	0	0	300-400	50	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M13	5 a 12 %	7,4	0,62	1,8	Arcilloso	40,89	42	0	0	0	0	200-300	17	S2	S1	S1	S2	S3	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	N2	N2	1
M14	5 a 12 %	7,6	1,46	1,5	Arcilloso	34,34	36	0	0	0	0	300-400	30	S2	S1	S2	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M15	5 a 12 %	6,7	0,99	3,1	Franco arcilloso	43,06	44	0	0	0	0	300-400	40	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S3	1
M16	5 a 12 %	7,2	0,45	2,7	Franco	24,79	26	0	0	0	0	200-300	30	S2	S1	S2	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M17	2 a 5 %	6,9	0,54	2,4	Arcilloso	29,19	31	0	0	0	0	300-400	37	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S3	1
M18	12 a 25 %	7,6	0,71	3,1	Franco arenoso	33,23	34	0	0	0	0	200-300	22	S3	S1	S1	S2	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M19	40 a 70 %	7,4	0,36	4	Franco arenoso	42,2	46	0	0	0	0	200-300	14	N2	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1

M42	12 a 25 %	7	0,62	1,3	Franco arenoso	21,88	24	0	0	0	0	200-300	50	S3	S1	S1	S3	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	N2	N2	1
M43	5 a 12 %	7,6	0,69	1,3	Arcillo limoso	34,72	36	0	0	0	0	300-400	80	S2	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1								
M44	40 a 70 %	6,8	0,74	2,4	Franco arcilloso	29,08	32	0	0	0	0	300-400	34	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S3	N2	1							
M45	2 a 5 %	7,7	0,67	3,4	Franco	35,91	37	0	0	0	0	300-400	60	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S3	S3	1	
M46	5 a 12 %	7,2	0,95	2,2	Franco	35,6	37	0	0	0	0	300-400	47	S2	S1	S1	S2	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S3	S3	1	
M47	2 a 5 %	7,7	0,69	3,1	Franco arcilloso	41,1	43	0	0	0	0	400-500	60	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	S2	1
M48	5 a 12 %	7,7	0,53	5	Franco arcilloso	43,23	45	0	0	0	0	400-500	64	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	S2	1
M49	12 a 25 %	7,5	0,91	0,7	Arcilloso	29,45	31	0	0	0	0	300-400	42	S3	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S3	S1	N2	S3	N2	1
M50	40 a 70 %	7,4	0,24	5,2	Franco arenoso	38,68	40	0	0	0	0	400-500	25	N2	S1	S1	S3	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1
M51	12 a 25 %	7,2	0,46	1,2	Arcilloso	36,53	38	0	0	0	0	300-400	52	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M52	40 a 70 %	8,4	0,65	2,1	Franco arenoso	39,2	41	16	0	0	0	200-300	108	N2	S1	S1	S2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	N2	N2	1
M53	40 a 70 %	8	0,92	6,2	Franco	34,49	37	0	0	0	0	300-400	40	N2	S1	S1	S2	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	N2	1
M54	5 a 12 %	7,7	1,43	3,7	Franco arenoso	31,84	34	0	0	0	0	200-300	70	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M55	5 a 12 %	7,5	0,41	1,9	Franco arcilloso	32,05	33	15,3	0	0	0	300-400	65	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M56	0 a 2 %	7,9	0,39	1,9	Franco	31,78	34	26	0	0	0	400-500	103	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S3	1
M57	12 a 25 %	8	0,56	3	Franco	34,83	36	17,4	0	0	0	300-400	18	S3	S1	S1	S1	S1	N2	S2	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	N2	1
M58	0 a 2 %	8,3	0,6	1,8	Franco arenoso	30,87	32	15	0	0	0	200-300	20	S1	S1	S3	S3	S1	S3	S2	S1	S1	S1	S3	S2	S1	S1	N2	N2	1
M59	12 a 25 %	7,9	2,33	5,9	Franco	38,6	39	0	0	0	0	200-300	42	S3	S1	S2	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M60	2 a 5 %	7,3	2,88	6,2	Franco	35,2	36	0	0	0	0	200-300	58	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M61	2 a 5 %	8	0,82	5,6	Franco	36,03	37	0	0	0	0	200-300	80	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1									
M62	12 a 25 %	7,1	0,52	4,1	Franco arcilloso	30,94	32	0	0	0	0	300-400	40	S3	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	S3	1
M63	2 a 5 %	6,8	0,23	1,6	Franco arenosa	35,84	37	0	0	0	0	300-400	32	S1	S1	S1	S3	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S3	S3	1
M64	40 a 70 %	7,5	0,57	0,4	Franco arcilloso	38,24	41	0	0	0	0	300-400	39	N2	S1	S2	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S3	S1	S1	S3	N2	1
M65	5 a 12 %	7	1,13	4,4	Franco limoso	27,27	29	0	0	0	0	200-300	22	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	N2	N2	1							

M89	0 a 2 %	8	0,25	3,5	Franco arcilloso	36,45	38	0	0	0	0	200-300	65	S1	S1	S2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M90	40 a 70 %	7,4	0,96	4,9	Franco arcilloso	32,51	33	0	0	0	0	200-300	98	N2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M91	5 a 12 %	8,2	0,41	3,4	Franco	29,39	32	24,9	0	0	0	200-300	55	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M92	25 a 40 %	6,7	0,73	4,9	Franco arenoso	23	25	0	0	0	0	200-300	28	N2	S1	S1	S3	S1	S3	S1	N2	N2	1							
M93	12 a 25 %	7,3	0,76	3,7	Franco arcilloso	34,87	36	0	0	0	0	200-300	65	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M94	12 a 25 %	7,5	1,03	2,2	Arcilloso	39,88	42	0	32	0	0	300-400	45	S3	S1	S1	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	N2	1
M95	2 a 5 %	7,2	0,82	4,3	Franco	32,74	34	0	0	0	0	200-300	75	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M96	5 a 12 %	7,4	2,62	3,5	Franco limoso	23,74	25	0	0	0	0	400-500	33	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	S3	1
M97	25 a 40 %	8	0,45	1,3	Franco arcilloso	39,74	40	0	0	0	0	400-500	74	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	N2	1
M98	70 a 100 %	8	0,44	3	Franco	38,85	40	0	0	0	0	400-500	35	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1
M99	25 a 40 %	7,9	0,56	6,6	Franco	36,75	38	0	0	0	0	400-500	93	N2	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1								
M100	25 a 40 %	7,5	0,79	2,5	Franco	42,83	45	0	0	0	0	400-500	84	N2	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1								
M101	40 a 70 %	6,8	0,9	2,1	Franco arcilloso	32,43	36	0	0	0	0	200-300	50	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	N2	N2	1							
M102	5 a 12 %	7,7	1,04	6,3	Franco arenoso	37,03	40	0	0	0	0	200-300	11	S2	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M103	40 a 70 %	8	2,51	6,6	Franco	42,26	45	18	8,4	3,7	4,03	200-300	47	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S2	S2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M104	5 a 12 %	7,8	0,42	3,1	Franco arcilloso	39,23	42	23	0	0	0	200-300	65	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M105	5 a 12 %	7,6	0,36	2,8	Franco	35,98	36	0	0	0	0	400-500	10	S2	S1	S1	S1	S1	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1
M106	5 a 12 %	7,1	0,49	3	Franco	29,23	30	0	0	0	0	200-300	62	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M107	12 a 25 %	7,8	0,88	2,7	Franco	28,05	30	0	0	0	0	200-300	83	S3	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M108	2 a 5 %	7,1	0,72	4,6	Franco	22,46	24	0	0	0	0	200-300	52	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M109	25 a 40 %	7,6	0,66	3,5	Franco	28,21	32	0	0	0	0	200-300	33	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M110	25 a 40 %	8	0,72	3,7	Franco	28,7	32	0	0	0	0	200-300	50	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M111	5 a 12 %	7,1	0,66	3,7	Franco	40,35	42	0	0	0	0	400-500	47	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	S3	0

M112	70 a 100 %	7,9	0,73	3,7	Franco	58,65	60	0	0	0	0	400-500	26	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1
M113	40 a 70 %	7,2	0,6	3	Franco arenoso	46,7	50	0	0	0	0	400-500	10	N2	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S2	N2	1
M114	5 a 12 %	7,5	0,43	1,6	Franco	25,19	27	0	0	0	0	300-400	39	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M115	2 a 5 %	8,4	3,92	3,4	Franco	45,32	46	0,2	12,6	8,54	10,18	200-300	120	S1	S3	S1	S1	S3	S1	S1	S1	N2	N2	1						
M116	25 a 40 %	8	0,65	4,9	Franco arcilloso	36,77	37	0	0	0	0	200-300	55	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M117	2 a 5 %	8,2	0,99	1,9	Franco	37,78	38	0	0	0	0	200-300	55	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	N2	N2	1
M118	2 a 5 %	7,3	1,06	2,4	Franco	28,57	30	0	0	0	0	200-300	117	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1									
M119	25 a 40 %	8,1	0,68	3,2	Franco arenoso	38,23	40	0	0	0	0	200-300	10	N2	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M120	70 a 100 %	8,3	0,65	1,8	Franco arenoso	27,28	30	28,3	0	0	0	200-300	40	N2	S1	S1	S3	S2	S3	S3	S1	S1	S1	S3	S2	S1	S1	N2	N2	1
M121	0 a 2 %	7,3	0,33	1,5	Franco arcilloso	29,31	32	0	0	0	0	300-400	25	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M122	5 a 12 %	7,7	2,4	4,4	Franco	29,32	32	0	29	0	0	200-300	35	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M123	12 a 25 %	7,4	2,31	3,2	Franco arcilloso	45,24	47	0	21,5	0	0	300-400	55	S3	S1	S2	S1	S1	S2	S1	N2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	N2	0
M124	5 a 12 %	7,8	0,79	1,3	Franco	42,75	47	17	0	0	0	200-300	25	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S2	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	N2	N2	1
M125	40 a 70 %	7,9	0,75	5,3	Franco	47,4	51	0	0	0	0	200-300	22	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M126	2 a 5 %	7,7	0,55	2,4	Franco limoso	41,05	44	0	0	0	0	200-300	55	S1	S1	S2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M127	2 a 5 %	8,2	0,67	0,7	Franco arenoso	27,2	28	16	0	0	0	400-500	47	S1	S1	S1	S3	S1	S3	S2	S1	S1	S1	S2	S3	S1	S1	S3	S3	0
M128	25 a 40 %	8,2	1,08	8,5	Franco arenoso	43,13	46	0	0	0	0	200-300	45	N2	S1	S1	S2	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M129	0 a 2 %	8,1	2,87	4	Franco arenoso	47,6	48	0	10	1,54	1,01	200-300	22	S1	S1	S1	S2	S1	S3	S1	S2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M130	25 a 40 %	7,6	0,6	2,1	Franco	27,81	30	0	0	0	0	200-300	52	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M131	5 a 12 %	7,2	0,7	2,5	Franco limoso	27,43	30	0	0	0	0	200-300	25	S2	S1	S2	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M132	25 a 40 %	7,8	0,41	2,4	Franco arcilloso arenoso	44,62	46	0	0	0	0	200-300	35	N2	S1	S1	S2	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M133	25 a 40 %	7,9	0,42	3,4	Franco	41,16	44	17,2	0	0	0	300-400	25	N2	S2	S2	S1	S2	S3	S2	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	N2	0
M134	2 a 5 %	6,9	0,59	4,9	Franco limoso	29,4	30	0	0	0	0	200-300	60	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	N2	N2	1							
M135	5 a 12 %	6,7	0,28	1	Franco arcilloso	32,73	33	0	0	0	0	200-300	55	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	N2	N2	1

M136	2 a 5 %	7,8	0,47	1	Franco arenoso	35,08	36	0	0	0	0	400-500	11	S1	S1	S1	S3	S1	N2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	N2	1
M137	5 a 12 %	7,9	1,51	1,3	Franco	47,57	50	0	0	0	0	400-500	38	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S2	S3	1
M138	2 a 5 %	6,6	12,1	2,2	Arcillo so	32,91	36	0	0	0	0	300-400	45	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S1	S1	N2	S1	S3	N2	1
M139	5 a 12 %	7,8	1,16	4,9	Franco arcilloso	50,72	53	0	0	0	0	300-400	70	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S3	S3	1
M140	12 a 25 %	7,2	0,61	1,2	Franco arcilloso	42,92	45	0	0	0	0	300-400	55	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	S3	S3	1
M141	2 a 5 %	7,4	0,49	2,4	Franco arcilloso	43,04	46	0	0	0	0	200-300	65	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M142	5 a 12 %	5,8	0,62	3	Franco arcilloso	54,34	57	0	0	0	0	200-300	50	S2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M143	5 a 12 %	7,3	0,63	0,9	Franco arcilloso	41,57	44	0	0	0	0	200-300	52	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S3	S1	S1	N2	N2	1
M144	12 a 25 %	7,5	0,58	2,7	Franco	33,8	36	0	0	0	0	200-300	30	S3	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M145	2 a 5 %	7,1	0,57	1,8	Franco arcilloso	32,94	35	0	0	0	0	200-300	32	S1	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	N2	N2	1
M146	25 a 40 %	7,3	0,78	3,2	Franco arcillo- arenoso	35,35	38	0	0	0	0	200-300	55	N2	S1	S1	S2	S1	S2	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M147	40 a 70 %	6,4	3,29	15,9	Franco arcillo- arenoso	38,22	40	0	0	0	0	200-300	31	N2	S1	S1	S2	S1	S3	S1	N2	N2	1							
M148	2 a 5 %	7,6	3,31	5,9	Franco	36,18	39	0	33	0,9	0,9	200-300	71	S1	S1	S1	S1	S1	S2	S1	N2	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M149	25 a 40 %	7,1	0,77	3,8	Franco	37,48	41	0	0	0	0	200-300	25	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M150	40 a 70 %	7,4	0,78	1,8	Franco	37,72	40	0	0	0	0	200-300	50	N2	S1	S1	S1	S1	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S2	S1	S1	N2	N2	1
M151	25 a 40 %	8,1	1,76	3,2	Franco arenoso	33,47	35	22,8	0	0	0	200-300	30	N2	S1	S1	S3	S2	S3	S2	S1	S1	S1	S2	S1	S1	S1	N2	N2	1
M152	70 a 100 %	8,1	0,78	0,3	Franco arenoso	33,75	35	0	0	0	25,5	200-300	20	N2	S1	S1	S1	S2	S3	S1	S1	S1	S1	S2	S3	S1	S1	N2	N2	1

Anexo 2. Formato de publicación del mapa de aptitud de uso de la tierra para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón Montecristi

