



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**ZONIFICACIÓN AGROCLIMÁTICA PARA LOS CULTIVOS DE MAÍZ Y FRIJOL
EN EL MUNICIPIO DE LARREYNAGA, DEPARTAMENTO DE LEÓN.**

Para optar al título de Ingeniero Agrícola

Elaborado por

Br. Manuel Antonio Prado Idiáquez

Br. William Antonio Barrios Bell

Tutora

Ing. MSc. Rosario Verónica Sotelo Contreras

Managua, Abril 2016

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1 Introducción

Nicaragua es un país potencialmente agrícola, cerca del 38% del total de área nacional tiene vocación agropecuaria (MARENA, 2004), donde la mayor parte de su economía está basada en la agricultura, esta participa en un 28% del total del Producto Interno Bruto (Banco Central de Nicaragua, 2010), de ella depende el desarrollo económico que el país requiere para satisfacer las necesidades básicas de su población.

Los cultivos de frijol y maíz han sido unos de los cultivos con mayor demanda y producción, debido que ambos son parte de la dieta básica de los nicaragüenses, principalmente por la población de escasos recursos económicos. La producción de estos cultivos en Nicaragua se caracteriza por ser una actividad realizada por pequeños productores en las diferentes regiones del país.

El área de estudio seleccionada está ubicada en el municipio de Larreynaga, en el departamento de León, debido a los bajos rendimientos en la producción de maíz y frijol de esta zona y con el fin de contribuir con los esfuerzos para aumentar seguridad alimentaria en el municipio.

En relación a la problemática expuesta, el presente estudio contribuirá a determinar mediante el comportamiento de las variables climáticas, requerimientos edafológicos de los cultivos (maíz y frijol) y la disponibilidad de agua (periodo de secano), las áreas con mayor aptitud agrícola en la zona de estudio, para mejorar los rendimiento en las cosechas de cultivos de maíz y frijol, dicho de otro modo, como resultado se obtiene el mapa conteniendo las áreas con mayor potencial para el desarrollo de los cultivos maíz (NB-S) y frijol (INTA rojo) en el municipio de Larreynaga.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Establecer una base de información agroclimática para propósitos de planificación agrícola en el municipio de Larreynaga, Departamento de León.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros climáticos y edafológicos del municipio de Larreynaga, para el establecimiento de los cultivos de maíz y frijol.
- Determinar una metodología útil para la planificación de áreas potenciales agrícolas para la seguridad alimentaria en la zona.
- Determinar áreas óptimas para los cultivos de maíz y frijol en base a los datos agroclimáticos.

1.3 Justificación

El municipio de Larreynaga, departamento de León, es de vocación agrícola, los principales rubros son los granos básicos: maíz, frijol, arroz de riego, arroz de seco, sorgo rojo, sorgo millón y sorgo blanco (INIDE-MAGFOR, 2003). Sin embargo los rendimientos en relación a los óptimos son bajos, obteniendo actualmente 8 qq/mz y 19.2 qq/mz (cultivo de consumo) para los cultivos de frijol y maíz respectivamente (MAGFOR, 2003 - 2005).

Mediante la metodología propuesta se obtendrá una caracterización climática y edafológica en el municipio de Larreynaga, así mismo mediante el uso de herramientas técnicas como el cálculo de balance hídrico se determinará la disponibilidad de agua fácilmente aprovechable que tendrá el cultivo.

Con el presente estudio en el municipio de Larreynaga, se determinara los lugares o áreas óptimas para la siembra de maíz y frijol para el régimen de seco, mediante la correlación de los tributos y exigencias edafoclimáticas de los cultivos, se obtendrá un panorama simplificado y fácilmente comprensible de las áreas y fechas optimas de los cultivos de maíz y frijol para mitigar las pérdidas de rendimientos; así mismo, se generará una base sólida para que el productor pueda realizar una mejor planificación de cosecha, de igual forma, servirá como material de apoyo para estudios similares para el futuro.

1.4 Antecedentes

En 1998 la Dirección de Hidrogeología (INETER), efectuó la caracterización hidrogeológica e hidro-química de la zona del pacífico, con la metodología propia de INETER en la cual a través de las características geológicas del entorno y un mapeo de campo realizado en las zonas promisorias, se evaluó el recurso hidrogeológico.

En el año 1999 la Dirección de Aplicaciones a la Meteorología (INETER), realizó el estudio de Zonificación agroclimática para los cultivos de granos básicos maíz, frijol y sorgo en los departamentos de Boaco y Chontales, en el estudio se determinaron las zonas óptimas para el cultivo de dichos granos, así como, los periodos de crecimiento y los rendimientos de cada cultivo utilizando la metodología empleada por la FAO en su Informe de Proyectos de Zonas Agroecológicas.

En el año 2007 la Dirección de Aplicaciones a la Meteorología (INETER), realizó la Caracterización climática en el departamento de León. Las características climáticas del departamento se basa en el comportamiento de los principales elementos climáticos como son: la precipitación, temperatura, humedad, presión atmosférica, insolación, nubosidad, viento y algunos índices aplicados que aportan elementos importantes en el conocimiento del clima.

En 2010 la Dirección de Ordenamiento Territorial (INETER), realizó el estudio Uso Potencial de Suelos en el Occidente del país (departamentos de Chinandega y León), con el objetivo determinar la utilización más apropiada del suelo, por sus características y propiedades edáficas, el relieve y sus condiciones ambientales para su explotación rentable con mínimo deterioro del recurso. En el departamento de León se establecieron cuatro categorías: tierras agrícolas (agropecuarias), tierras forestales, tierras pecuarias y tierras de conservación. Se obtuvo como resultados los siguientes datos (ver tabla 1):

Tabla 1. Uso potencial de los suelos

Categoría	Área (Ha)	%
Agropecuarias	116.169	23.18
Forestales	224.073	44.69
Pecuarias	98.059	19.55
Conservación	17.213	3.45
Otros Usos	11.646	9.13

Fuente: INETER, 2010

En 2010 UCATSE realizó el estudio Situación Cartográfica Digital de Suelos de Nicaragua. Se realizó el mapa agroecológico (uso potencial de tierra) a una escala de 1: 250.000 utilizando la Soil Taxonomy of United State (USA) como sistema de clasificación de suelos.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Estudio agroclimatológico

El estudio agroclimático es un proceso en el cual se identifican las áreas con características apropiadas para la siembra, que se diferencia de otras áreas por sus factores físicos como el clima, los suelos y agua. También se toma en cuenta los factores biológicos (la vegetación y fauna), socioeconómicos (presencia del hombre y sus actividades) y su evaluación en relación a la aptitud de uso sostenible para ciertas actividades o labores de agricultura (citado por FAO, 1981).

2.1.2. Climatología

La climatología consiste en el estudio del clima, sus variaciones y extremos y su influencia en varias actividades, sobre todo (aunque no exclusivamente) en los ámbitos de la salud, la seguridad alimentaria y el bienestar humano. En sentido estricto, se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados. El clima puede explicarse mediante descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad de elementos como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de elementos, tales como tipos y fenómenos meteorológicos, que son característicos de un lugar o región durante cualquier período de tiempo (OMM, 2011).

2.2. Gestión de datos climáticos

Consiste en recopilar, verificar la representatividad, efectuar control de calidad y realizar pruebas de tolerancia de los datos climáticos a utilizar en un estudio.

2.2.1. Método de la carrera

Este método es un indicador de la consistencia de las series climáticas, el cual parte del método que una serie debe tener cambios congruentes con respecto a una serie de referencia. Este método es realizado contando el número de corridas arriba y abajo de la mediana en una serie ordenada naturalmente, y probando estos datos en una tabla de distribución de u (u es el número de corridas) el rango de cambios pequeños es indicativo de la consistencia de los datos, mientras que un gran número de cambios es sinónimo de oscilaciones anómalas en la serie (Montealegre, E., 1990).

2.2.2. Método de doble masa

Consiste en un método de correlación, el gráfico de doble masa se emplea para identificar series climáticas anómalas, debidos a las desviaciones (variaciones) que tenga una serie meteorológica con respecto a una serie de referencia. El total acumulado de la serie a evaluar se traza en un gráfico donde se compara con una estación de referencia. Si la correlación entre la serie a evaluar y la serie de referencia se mantiene constante a lo largo del tiempo, la curva de doble masa resultante debería tener una pendiente constante, una variación importante en la pendiente de la curva indica que se ha producido un cambio en la relación de ambas series ((Searcy J. &Hardison h. 1983).

2.3. Homogeneización de series climáticas

Radica en determinar y calcular los datos faltantes en las series climáticas; con el objetivo de reflejar solo la variabilidad del elemento climático analizado (temperatura, precipitación, radiación solar, etc). Esto se realiza mediante correlaciones estadísticas de primer orden.

2.3.1. Promedios vecinales

Consiste en calcular los datos faltantes mediante dos o tres estaciones que se encuentren cercanas a la estación a rellenar el dato faltante, es de gran importancia para este método el conocimiento del lugar donde están emplazadas la estaciones meteorológicas porque una mala elección de las estaciones a promediar provocaría una sobreestimación o subestimación de los valores mensuales de la estación a rellenar.

2.3.2. Correlación lineal

Consiste en relacionar dos estaciones climatológicas afines, que posean similar acumulado de lluvia, altura y relieve. Este expresa la relación entre una variable dependiente “Y” y una variable independiente “X”, en términos de la pendiente y la intersección de la línea que mejor se ajuste a las variables.

La correlación determina el grado o la cercanía de la relación entre las dos variables en términos de un coeficiente de correlación, que proporciona una medida indirecta de la variabilidad de los puntos alrededor de la mejor línea de ajuste.

2.3.3. Proporción normal

Consiste en interpolar valores faltantes mediante ecuaciones lineales estadísticas, este quiere decir que el método de proporción normal no requiere de una estación climática con comportamiento similar, el cálculo de los datos faltantes se realiza con los mismos datos de la estación a rellenar (OMM, 2011).

Se utiliza, por lo general, para el relleno de datos en las estaciones principales (HMP, Hidrometereológica Principal) o estaciones meteorológicas completas, es decir, que registran todas las variables climáticas o variables meteorológicas: precipitación, temperatura, evaporación, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, entre otras (OMM, 2011).

2.4. Inventario climático

Para realizar el análisis cuantitativo de la productividad agrícola es preciso determinar la relación entre los componentes biológicos (tipos de cultivo) y físicos (clima y suelo) en los distintos tipos de uso de suelos. Este enfoque nos ofrece una base racional para la evaluación de los recursos de la tierra y para la planificación de una eficaz explotación agrícola de los recursos climáticos. El inventario climático consiste en realizar un análisis del comportamiento y distribución espacial de las variables meteorológicas de precipitación, temperatura, radiación solar, entre otras.

2.4.1. Clasificación climática

Consiste en una clasificación que identifica el clima principal con una serie de simbologías, que indican de manera general el comportamiento de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan el tipo de clima imperante en una región.

La metodología a utilizar en el presente estudio es el “Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado” (E,García, 1988). Su modificación se hizo necesaria porque este sistema climático fue concebido fundamentalmente para definir las zonas climáticas del mundo que se extienden en la latitud. Por consiguiente, los valores y cálculos en que se fundamenta pueden no corresponder exactamente a las condiciones de un país de características tropicales como Nicaragua, en que los cambios esenciales del clima no son debido solo a la latitud, sino también a las variaciones de la altitud que crean condiciones muy especiales en los cambios y distribución de los elementos climáticos.

El sistema de clasificación de Köppen utiliza formulas empíricas y valores derivados de las variaciones de ciertos elementos climáticos para determinar e identificar cinco grandes grupos de clima y las subdivisiones correspondientes, que en conjunto constituyen once tipos climáticos fundamentales. Dichas

formulas y valores fueron calculadas y escogidos por hallarse en relación con importantes características del clima que determinan la distribución sobre la Tierra de las principales agrupaciones de plantas superiores y de otros seres vivientes.

Las modificaciones y adaptaciones al sistema se realizaron sin apartarse de los lineamientos generales de la clasificación original, de modo que en la clasificación modificada se siguen empleando todos los símbolos y fórmulas de Köppen. Cabe destacar que las nuevas designaciones a que nos referimos fueron establecidas con base a formaciones vegetales ubicadas en zonas latitudinales tropicales.

Tabla 2. Clasificación climática según Köppen

Grupo	Denominación	Criterio de clasificación	Características
A	Climas tropicales	Temperatura media superior a 18 °C todos los meses.	Ausencia de invierno.
B	Climas secos o áridos	Evaporación superior a la precipitación como media anual.	No existen cursos permanentes de agua (ríos).
C	Climas templados (mesotérmicos)	Temperatura media del mes más frío entre - 3 °C y 18 °C y del mes más cálido superior a 10 °C.	Presentan verano e invierno.
D	Climas fríos o de nieve (microtérmicos)	Temperatura media del mes más frío inferior a - 3 °C y del mes más cálido superior a 10 °C	Isoterma de 10 °C que coincide con el límite septentrional de crecimiento de bosque.
E	Climas de hielo	Temperatura media del mes más cálido inferior a 10 °C	Carecen de verdadero verano.

Fuente: Dra. Enriqueta García, 1988.

La Subdivisión según Köppen modificado queda definida en función de la distribución estacional de la precipitación por las siguientes letras minúsculas (ver tabla 3):

Tabla 3. Tipos de clima según Köppen (segunda sub-división)

Clima	Denominación	Características
Af	Clima de selva tropical lluviosa	Precipitación mayor a 600 mm en el mes más seco.
Aw	Clima de sabana tropical	Al menos un mes con precipitación menor a 600 mm.
Am	Clima monzónico	Precipitación menor a 600 mm en el mes más seco.
BS	Clima de estepa	Clima árido continental.
BW	Clima desértico	Precipitación anual inferior a 400 mm.
Cf	Clima templado húmedo sin estación seca	Precipitación mayor a 300 mm en el mes más seco.
Cs	Clima templado con verano seco	La precipitación del mes más seco del verano es inferior a 300 mm y la del mes más lluvioso del invierno tres veces superior.
Cw	Clima templado con estación invernal seca	El mes más húmedo del verano es diez veces superior al más seco del invierno.
Df	Clima boreal de nieves y bosque con inviernos húmedos	No hay estación seca.
Dw	Clima boreal de nieves y bosque con inviernos secos	Con una estación seca en invierno.
Et	Clima de tundra	Temperatura media del mes más cálido es inferior a 10 °C y superior a 0 °C.
EF	Clima de hielos perpetuos	La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0 °C.

Fuente: Dra. Enriqueta García, 1988.

El tipo de clima Aw de Köppen (subhúmedo con lluvias en verano), a su vez se ha subdividido en tres categorías utilizando como indicador el resultado de la división entre la precipitación y temperatura anual de la región a clasificar (Mapa de Clasificación Climática de Nicaragua en Anexos 8).

Tabla 4. Nuevas designaciones de clima de Köppen modificado para clima de trópicos

Símbolo	Cociente P/T	Designaciones
Aw0	43.2	el más seco de los subhúmedos
Aw1	entre 43.2 y 55.3	intermedio entre Aw0 y Aw2
Aw2	55.3	el más húmedo de los Subhúmedos

Fuente: Dra. Enriqueta García, 1988

2.4.2. Amenaza por sequía meteorológica

El déficit de precipitación se calcula mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE), fue desarrollada por Mckee y otros en 1993, con la finalidad de mejorar la detección del inicio, duración y fin de la sequía meteorológica.

El periodo climático mínimo para su cálculo es de 20 años de valores mensuales de precipitación, pero lo óptimo y preferiblemente es entre 50 y 60 años (Guttman, 1994). El programa "SPI_SL_6¹" se puede ejecutar sin todos los datos, pero ello afectaría la fiabilidad de los resultados, en función de la distribución de los datos faltantes en relación con la extensión temporal del registro.

El cálculo del IPE para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un periodo deseado (escalas temporales de 3, 6, 12, 24 y 48 meses).

Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma a una distribución normal de modo que el IPE medio para la localidad y el periodo deseado sea cero (Edwards y Mckee, 1997).

¹ Para descargar el programa SPI_SL_6 u obtener mayor información del IPE puede visitar: <http://drought.unl.edu/MonitoringTools/DownloadableSPIProgram.aspx>

2.4.3. Periodo de crecimiento de los cultivos

La estimación del periodo de crecimiento del cultivo se realizó utilizando el modelo de balance hídrico que relaciona las lluvias con la evapotranspiración de referencia. Para la determinación del inicio del periodo de crecimiento, este se basa en el inicio del periodo lluvioso, sin embargo, el trabajo experimental indica que la eficiencia de las primeras lluvias incrementa considerablemente, cuando las precipitaciones son iguales o superan la mitad de la evapotranspiración de referencia. (FAO. 1997)

1. Tipos de periodo de crecimiento del cultivo (ver figura 1).

a) Período de crecimiento de todo el año

La P excede normalmente a la ETp para todo el año.

b) Período de crecimiento normal

La P supera a la ETp para parte del año; pudiéndose diferenciar:

- Un período de crecimiento.
- Un período de crecimiento con periodo de inactividad.
- Dos o más períodos de crecimiento.
- Dos o más período de crecimiento de los cuales uno tiene un período de inactividad.

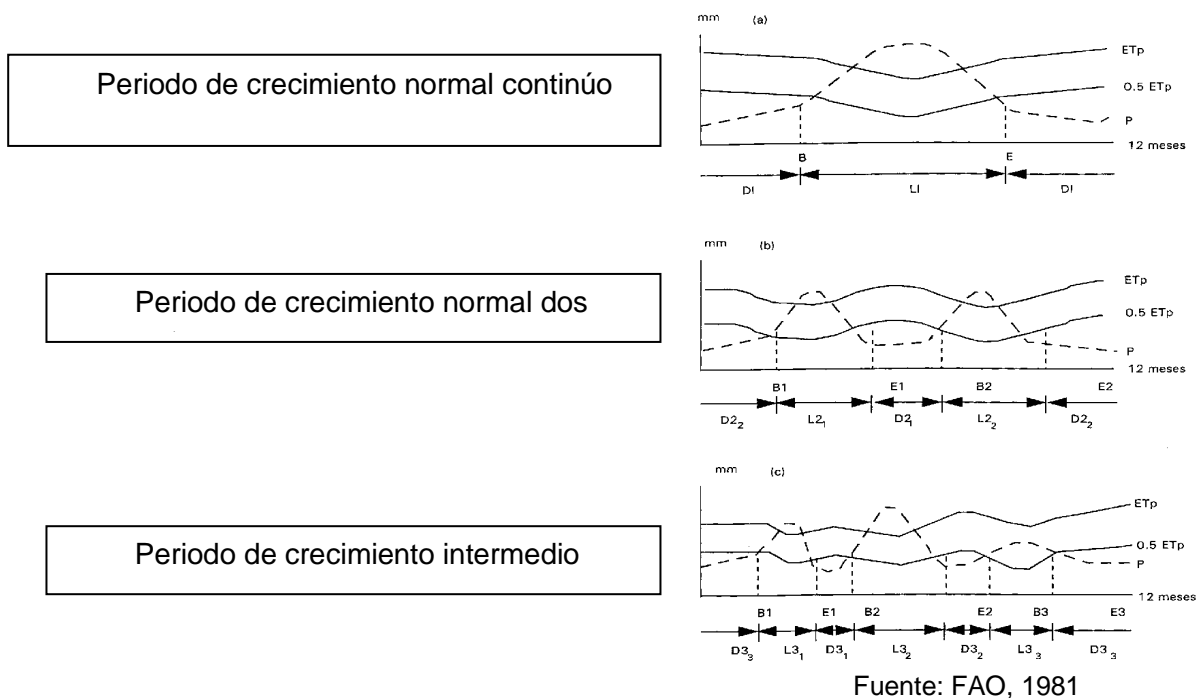
c) Período de crecimiento intermedio

La P normalmente no excede a la ETp, pero si la supera parte del año, se puede diferenciar:

- Un período de crecimiento.
- Un período de crecimiento con periodo de inactividad.
- Dos o más períodos de crecimiento.
- Dos o más período de crecimiento de los cuales uno tiene un período de inactividad.

d) Sin período de crecimiento

Figura 1. Período de crecimiento anual



En la figura 1 se presenta el comportamiento de las precipitaciones con respecto a la evapotranspiración de referencia, nos indica de manera gráfica el momento en que las precipitaciones superan la evapotranspiración de referencia media y total, mostrándonos los tres posibles escenarios más comunes que se generan en la parte de los trópicos. FAO, 1981.

2.4.4. Evapotranspiración (ETp)

Se conoce como evapotranspiración la combinación de dos procesos separados, el agua que se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante la transpiración del cultivo.

La evapotranspiración del cultivo se puede calcular a partir de los datos climáticos e integrando directamente los factores de la resistencia del cultivo, albedo y la resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Por lo que existen considerables falta de información para los diferentes cultivos, el método de Penman-Monteith se utiliza solo para la estimación de la tasa de evaporación del cultivo estándar de referencia.

La relación ET_p / ETo puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como coeficiente del cultivo (K_c) y se utiliza para relacionar ET_p a ETo de manera que $ET_p = K_c * ETo$.

2.4.5. Evaporación

Es el proceso por el cual el agua en su estado líquido se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). Para la realización de este proceso se necesita energía la cual es proporcionada por la radiación solar directa y en menor grado la temperatura ambiente del aire.

2.4.6. Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominante a través de las estomas (pequeñas aberturas en las hojas de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de las plantas hacia la atmósfera). Para la realización de este proceso se necesita la energía proporcionada por el gradiente de presión del vapor y la velocidad del viento. Por lo que también considera la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento en su cálculo.

2.4.7. Balance hídrico

El método más conocido para calcular el agua que consume un cultivo en sus fases de desarrollo es el balance hídrico del suelo, este se define como la suma de todas las entradas y salidas de agua en el suelo, tomando en consideración los cambios netos de almacenamiento en un período de tiempo dado.

Según Hillel (1984), el contenido de agua de un volumen dado de suelo no puede aumentar sin un aporte proveniente del exterior (por infiltración o aporte capilar, por ejemplo) y no puede disminuir al menos que el agua sea transportada a la atmosfera por evapotranspiración, o por percolación a zonas más profundas que la rizofera.

La importancia del balance hídrico radica en que permite estimar diferentes aspectos de interés agrícola tales como la reserva de humedad productiva en el suelo, el déficit/excesos hídricos, el agua evapotranspirada y también el período de tiempo en que ocurren.

La ecuación general del balance hídrico del suelo en la rizofera normalmente es expresada como:

$$W_i = We_i + Ws_i + W_{i-1}$$

W_i : Contenido de humedad en el suelo en la rizosfera al final del período de tiempo i

We_i : entrada de agua al suelo durante el período de tiempo i

Ws_i : salida del agua del suelo durante el período de tiempo i

W_{i-1} : Reserva de humedad en el suelo al final del período anterior

2.5. El Cultivo de Frijol

Para la selección de semilla (variedad) en el cultivo del frijol para el análisis del presente estudio, se utilizó la información recopilada en las encuestas realizadas a los agricultores del municipio, así como a las fichas de cultivos y cartillas emitidas por MAGFOR e INTA, previendo que la variedad escogida este probada en el municipio y que esta tenga la capacidad de germinar y desarrollarse con las condiciones que presenta la región de estudio.

2.5.1. Generalidades

El cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es un cultivo importante para la alimentación humana por su alto contenido de proteínas, además su producción genera empleo e ingresos a las familias rurales (INTA, 2009).

El cultivo genera más de 200 mil empleos directos e indirectos en la producción y comercialización, así como ingresos económicos al país por que se exporta a otros países de Centroamérica en forma de grano comercial y semilla. En el 2008 alcanzó unos 65 millones de dólares, por la venta de este producto (INTA, 2008). En lo relacionado a la salud, ayuda a reducir los riesgos de cáncer de colon, próstata y senos, así como en la reducción de la diabetes y el colesterol (INTA, 2009).

En Nicaragua, el 95% de la siembra la realiza pequeños y medianos productores en áreas de 0.5 a 3 manzanas, el 5% restante explotado por grandes productores, los que están ubicados en suelos planos o poco ondulados que permiten la mecanización.

El área de siembra a nivel nacional ha variado entre 210 y 280 mil hectáreas (300 a 400 mil manzanas). En los últimos diez años el rendimiento promedio nacional² incremento de 638 Kg / ha. A 830 Kg / ha (10 a 13 q /mz).

2.5.2. Selección de variedad del cultivo y generalidades

La variedad analizada en el presente estudio es INTA-Rojo, variedad precoz de 80 días para madures fisiológica. Apta para la siembra de primera, lo más temprano posible, en lugares donde se piensa sembrar maíz de postrera. La variedad se recomienda para zonas secas en los departamentos de Nueva Segovia, Estelí, Masaya, León y Chinandega (INTA, 2009).

²MAGFOR, 2009

2.5.3. Crecimiento y fases de desarrollo

a. Fase Vegetativa

En esta etapa la semilla adsorbe agua para favorecer el proceso de germinación con la aparición de la radícula, la cual se convierte en la raíz primaria. Luego hipocotilo (corresponde a la parte subterránea del tallo principal), comienza a desarrollarse uno a dos días después de la aparición de la radícula y conduce a los cotiledones hacia arriba hasta que son visibles en el suelo.

Entre los 18 y 22 días después de la siembra, el frijol comienza a producir los brotes laterales, que posterior se convierten en ramas principales donde se fijara la producción de vainas. En este momento la planta demanda mayor cuidado en lo que respecta a malezas, por ser el período crítico de competencia.

b. Fase reproductiva

En las variedades de hábito indeterminado el inicio de esta etapa se presenta con la aparición de racimos en los nudos inferiores. La floración ocurre entre los 28 y 38 días después de la siembra. Las variedades precoces florecen más rápido mientras que en variedades tardías lo realiza con mayor número de días. La variedad de color roja presenta flores de color blanco.

c. Fase de llenado de grano

La formación de las vainas ocurre entre 40 y 60 días después de la siembra. Las vainas después de la floración comienzan a crecer. Las vainas aumentan entre los 15 a 20 días después de la floración. Los granos crecen rápido y alcanzan su peso máximo entre los 30 a 35 días después de la floración.

Cuando las plantas entran en madurez fisiológica, las hojas comienzan a madurar y se desprenden de la planta, las vainas cambian de color verde a crema o amarillo rojizo de acuerdo a la variedad.

La cosecha de variedades comerciales se realiza entre los 75 y 80 días después de la siembra. Al momento del arranque el grano tiene del 20 a 25 % de humedad, la que reduce entre 13 y 15 % para comercialización.

2.5.4. Requerimientos edafoclimáticos

En Nicaragua el frijol se cultiva en alturas que varían entre 50 a 800 msnm. En zonas bajas, las lluvias pueden ser más intensas y durar cortos períodos esto hacen que los cultivos sea más vulnerables a daños de lavados de cosecha, por estas condiciones se ocasionan pérdidas considerables a la producción. El clima favorable para el cultivo del frijol es donde las lluvias son moderadas y posean una mejor distribución.

El frijol se cultiva en suelos franco o franco arcillosos con buen drenaje y fertilidad en el suelo. Es una especie que presenta susceptibilidad a exceso de humedad en el suelo. Los suelos con topografía plana, profundos, buena fertilidad, drenaje superficial e internos apropiados, permite el desarrollo normal de los cultivos y tener buena cosecha.

El frijol requiere de 3.4 mm de agua por día, durante la floración, 6 mm de agua al día, durante la floración y 5 mm al día en la formación de vainas al llenado del grano. Las etapas críticas son de 15 días antes de la floración y de 18 a 22 días en la fase de maduración de las primeras vainas. Se ha determinado que las necesidades de agua durante el ciclo del cultivo de 60 a 120 días, varían entre 300-500 mm de agua según el clima.

Tabla 5. Requerimiento Climático

Adaptabilidad	Temperatura (°C)	Precipitación (mm/ciclo)	Altura (msnm)
Optima	20 a 23	250 a 456	250 a 850
Buena	17 a 23, 23 a 27	450 a 750	500 a 1000
Marginal	menor de 17 y mayor de 27	mayor a 750	menor de 500 y mayor de 1000

Fuente: INTA, 2009

Tabla 6. Requerimientos de suelo

Adaptabilidad	Textura	Profundidad (cm)	Pendiente (%)	PH
Optima	Suelos Francos	60	<15	6 a 7
Buena	Suelos arenosos-arcillosos	40 a 60	15 a 30	5
Marginal	Suelos arcillosos	menos de 40	30	<5

Fuente: INTA. 2009

2.5.5. Plagas

Las plagas pueden afectar el proceso productivo del frijol hasta ocasionar la pérdida total. El daño puede efectuarse de forma directa al succionar la sabia y consumir el tejido vegetal o de forma indirecta mediante la transmisión de enfermedades. La tabla 7 nos muestra las plagas que más afectan al cultivo del frijol:

Tabla 7. Plagas que afectan el cultivo de frijol

Nombre común (científico) del insecto	Localización	Daños
Barrenador del taño o Coralillo (<i>Elasmopalpus lignosellus</i>)	Suelo y plántula	Raíz y plántula
Gusano de alambre (<i>Aelus</i> spp.)	Suelo	Base de tallo y raíz
Falso alambre (<i>Epitragus sallei</i>)	Suelo	Raíz y el tallo de la plántula
Gallina ciega (<i>Phyllophaga</i> spp)	Suelo	Raíz debilitando y matando las plántulas
Cortadores (<i>Agrotis</i> spp.)	Suelo	Base de tallo
Babosas y Caracoles(<i>Vaginuluspleveius</i>)	Día en el suelo, noche en la planta	Toda la planta
Gusano cuerudo(<i>Feltia subterránea</i>)	Suelo	Base del tallo
Chicharrita verde(<i>Empoasca kraemeri</i>)	Follaje	Planta adulta foliolos

Fuente: INTA, 2009

2.5.6. Enfermedades

El cultivo del frijol es afectado por muchos patógenos sujetos a las condiciones ambientales. Existen enfermedades de mayor importancia que causan daños a la producción del cultivo del frijol, entre ellas se encuentran hongos, bacterias y virus (ver tabla 8). Los bajos rendimientos se deben al uso de semillas contaminadas, que favorecen la multiplicación de patógenos diseminados por el aire y el suelo, sumado deficiente control de las malezas y los insectos, plagas.

Tabla 8. Enfermedades que afectan al cultivo de frijol

Nombre común (científico)	Agente causal	Parte de la planta afectada
Mustia hilachosa tela de araña, pega pega o requema negra (Thanatephorus cucumeris)	Hongo	Tallo, follaje, granos
Tizón común o requema amarilla (Xanthomonas phaseoli)	Bacteria	Follaje, vaina, granos
Roya (Uromyces Phaseoli)	Hongo	Follaje, vaina
Antracnosis (Colletotrichum lindemuthianum)	Hongo	Follaje, vaina
Mancha angular (Phaeoisariopsis griseola)	Hongo	Follaje, vaina
Mosaico común (Potyvirus)	Virus transmitido por áfidos	Follaje, vainas, semillas
Mosaico dorado (Geminivirus)	Virus transmitido por la mosca blanca	Follaje, vainas

Fuente: INTA, 2009

2.5.7. Fechas de siembra, Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2009) Cultivo del Frijol.

- a. Primera del 15 de Mayo al 05 de Junio en la zona del Pacífico del país
- b. Postrera 15 al 30 de Agosto zonas secas de la región norte del país y del 1ro de Septiembre al 10 de Octubre en las zonas altas y bajas del Pacífico.

2.6. El cultivo de Maíz

2.6.1. Generalidades

El maíz (*Zea mays* L.), es el cultivo que se puede sembrar todo el año, en cuatro épocas de siembra: primera (mayo-junio), postrerón (julio), postrera (agosto- septiembre), apante (noviembre-febrero).

Es el cereal nutritivo básico en la alimentación humana, debido al aporte en calorías y proteínas. El grano de maíz está constituido: 77 % almidón, 2 % azúcares, 9% proteínas, 5 % aceites, 5 % pentosanas y 2 % ceniza.

2.6.2. Selección de variedad del cultivo y generalidades

La variedad analizada en este estudio fue maíz NB-S, variedad precoz de 100 días para madures fisiológica (ver tabla 5). Apta para la siembra de primera, lo más temprano posible (15 al 25 de mayo), en lugares donde se piensa sembrar frijol de postrera. La variedad se recomienda para zonas secas en los departamentos de Jinotega, Matagalpa, Nueva Segovia, Estelí, Masaya, León y Chinandega (INTA, 2011). Variedad de color blanco, aguanta sequía, produce a los 100 días rendimientos óptimos de 40 a 50 quintales por manzana (grandes productores, con tecnificación).

2.6.3.Crecimiento y fases de desarrollo

En los puntos de germinación, iniciación floral y madurez fisiológica se delinear diferentes fases, la duración de estas fases dependen del genotipo y la temperatura.

a. Fase vegetativa

La semilla germina y se forman las plántulas: se expande el follaje y se inicia la calidad fotosintética del cultivo, la cual controla la producción de biomasa y está correlacionada con el tamaño final de la mazorca, que ocupa el 40 % del peso.

b. Fase reproductiva

El período va de uno a dos días, entre la emisión de polen y la salida de los estigmas en la floración, ambos aspectos hacen que la polinización y la producción de polen sea sensitiva al estrés ambiental.

c. Fase llenado de grano

Comienza después de la polinización y determina el peso al final del grano de la mazorca. El peso del grano está relacionado con la duración y la cantidad de radiación interceptada, durante la fase y es afectada por falta de agua. De 12 a 20 días luego de iniciada la fase de llenado, el grano se comienza a formar. La etapa final tiene una duración de 7 a 14 días y concluye con la madurez fisiológica.

2.6.4. Requerimientos edafoclimáticos

Es el cultivo de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental, se siembra en latitudes que oscilan desde los 55° Norte a los 40° Sur y alturas entre 0 y 1800 metros sobre el nivel del mar. Hay cultivos precoces de 90 días, intermedios de 110 días y tardíos de 120 días.

La demanda del agua en el cultivo de maíz es de 500 a 800 mm de lluvias, bien distribuidos para un crecimiento normal. La reducción de crecimiento del grano en los primeros 30 días depende de diferentes variables (ej.: germinación, humedad superficial del suelo). La etapa crítica del cultivo del maíz va de la floración a la etapa del grano lechoso. En esta etapa, el grano se puede perder por marchitamiento de la planta y falta de agua hasta 50 % del potencial del rendimiento.

Tabla 9. Requerimientos climáticos

Adaptabilidad	Temperatura(°C)	Precipitación(mm/ciclo)	Altura(msnm)
Óptimo	19 a 24	700 a 800	200 a 800
Bueno	15 a 19, 24 a 28	500 a 700, 850 a 1000	100 a 1000
Marginal	Mayor de 28	Menor de 500 y mayor de 1000	Menor de 100 a mayor de 1000

Fuente: INTA, 2011

Tabla 10. Requerimiento de suelo

Valor	Textura	Profundidad(cm.)	Pendiente (%)	pH
Óptimo	Franco	>60	<15	6.5 a 7
Bueno	Franco arenoso	40 a 60	15 a 30	6
Marginal	Franco arcilloso	10 a 20	>30	<5.5

Fuente: INTA, 2011

2.6.5. Plagas

La producción de maíz, es afectada por un complejo de plagas entre la que se destaca: Spodoptera frugiperda (cogollero) esta ocasiona grandes pérdidas en la producción, en la tabla 11 se presentan las plagas que más afectan al cultivo de maíz en la región.

Tabla 11. Plagas que afectan el cultivo de Maíz

Nombre común (científico) del insecto	Localización	Daños
Gallina ciega (<i>phyllophaga</i> spp)	Suelo	Raiz debilitando y matando las plántulas
Falso alambre (<i>epitragus sallei</i>)	Suelo	Raiz y el tallo de la plántula
Coralillo (<i>elasmopalpus lignosellus</i>)	Suelo y plántula	Raiz y el tallo de la plántula
Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda frugiperda</i>)	Hojas y cogollo de la plántula	Hojas y el cogollo de la plántula
Chicharrita del maíz (<i>dalbulus maydis</i>)	Hojas de la plántula	Hojas de la plántula
Langosta medidora (<i>mocis latipes</i>)	Follaje de la plántula	Follaje de la plántula
Araña Roja (<i>Oligonychuss</i> spp.)	Hojas de la plántula	Hojas de la plántula
Barrenador de tallo (<i>sphenophorus</i> spp)	Suelo	Cogollo, el tallo y la mazorca de la plántula

Fuente: INTA, 2011

2.6.6. Enfermedades

Existen enfermedades de mayor importancia que causan daños a la producción del cultivo del maíz, entre ellas se encuentran hongos y bacterias, en la tabla 12 se describen las enfermedades que afectan al cultivo en la región.

Tabla 12. Enfermedades que afectan el cultivo de maíz

Nombre común (científico)	Agente causal	Parte de la planta afectada
Achaparramiento (Maize dwarf mosaic virus)	Virus	Tallo, mazorca
Cabeza loca (Peronosclerospora sorghi)	Hongo	Hojas
Mancha de asfalto (Phyllacora maydis)	Hongo	Hojas
Pudrición de mazorca (Stenocarpela maydis)	Hongo	Hojas y mazorca
Pudrición de la base de la mazorca (Pythium aphanidermatum)	Hongo	Base del tallo
Pudrición de tallo (Stenocarpella maydis)	Bacteria	Base del tallo
Necrosis letal del maíz (Maize lethal necrosis)	Virus	La plántula no se desarrolla

Fuente: INTA, 2011

2.6.7. Fechas de Siembra, Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria

- a. Primera del 15 al 30 Mayo
- b. Postrerón hasta 20 de Junio
- c. Postrera 15 al 20 de Agosto
- d. Apante del 15 al 30 de Noviembre (Solo en las regiones del Caribe)

2.7. Inventario de suelos

Una categoría de taxonomía de suelos es un conjunto de clases que es definido aproximadamente en el mismo nivel de generalización o abstracción y que incluye todos los suelos (USDA, 1999). La metodología de clasificación utilizada en este estudio es la propuesta por USDA, la cual tiene una clasificación de 12 órdenes de suelo.

2.7.1. Órdenes de suelos

Hay 12 órdenes de suelo: Alfisoles, Andisoles, Aridisoles, Entisoles, Gelisoles, Histosoles, Inceptisoles, Molisoles, Oxisoles, Ultisoles, Vertisoles y Espodosoles, se diferencian por la presencia o ausencia de horizontes de diagnóstico o características que reflejan los procesos de formación de suelo. Las propiedades del suelo son las consecuencias de una variedad de procesos actuando sobre materiales parentales con el tiempo.

Los procesos que ocurren en los suelos deben ser ordenados en relación con los factores formadores del suelo, que son el clima y organismos que actúan sobre materiales parentales con el tiempo.

a) Alfisoles

Los suelos de esta orden tienen marcadores de procesos de traslado arcillas de silicato sin el agotamiento excesivo de bases y sin el dominio de los procesos que conducen a la de un epipedón mólico. Las propiedades únicas de Alfisoles son una combinación de un epipedón ócrico o úmbrico, un horizonte argílico o nátrico, un medio a alto suministro de bases de los suelos y el agua disponible para las plantas mesofíticas³ para más de la mitad del año o más de 3 meses consecutivos durante un estación cálida

³ Plantas y comunidades vegetales que viven en condiciones ambientales intermedias entre el medio seco y el medio acuático.

Glosario: Infojardin www.infojardin.net.

b) Andisoles

Las características comunes a la mayoría de los Andisoles es alta retención de fósforo, capacidad de agua disponible, y la capacidad de intercambio catiónico. La mayoría de los Andisoles resultan de eyecciones volcánicas o materiales piroclásticos. Se pueden formar en casi cualquier entorno, siempre y cuando se presente una temperatura y humedad adecuada para permitir la meteorización y la formación de los minerales.

Los suelos pueden tener cualquier epipedón diagnóstico o subsuelo horizonte, siempre y cuando esté en 60 por ciento de los 60 cm superiores de los suelos, haciendo caso omiso de horizontes O, que tienen 25 por ciento o más de carbono orgánico.

c) Aridisoles

Este orden presenta una falta en la disponibilidad de agua para las plantas durante períodos muy prolongados, posee uno o más horizontes pedogenéticos, un horizonte superficial u horizontes no oscurecidos significativamente por humus, ausencia de grietas profundas y anchas.

Suelos Aridisoles no tienen agua disponible durante la mayor parte del tiempo, suelo cálido para el crecimiento de la planta (más caliente de 5 ° c, que nunca tienen agua disponible durante todo el tiempo). Aridisoles son principalmente suelos de zonas áridas. Se encuentran en zonas que excluye tanto entrada de agua en los suelos en la actualidad, ya sea bajo la lluvia muy escasa o bajo una ligera lluvia que por una razón u otra no entra los suelos.

d) Entisoles

Los suelos Entisoles presentan una ausencia de horizonte pedogénico. Son suelos que pueden estar en cualquier clima y bajo cualquier tipo de vegetación. La ausencia de horizontes pedogenéticos puede ser el resultado de un material de matriz inerte, tal como arena de cuarzo.

e) Gelisoles

La propiedad única de Gelisoles es la congelación y descongelación. Estas características incluyen horizontes irregulares y la incorporación de materiales orgánicos en los horizontes inferiores. Los aumentos en el volumen de suelo en congelación se consideran una de las principales causas de la formación del suelo, estos suelos se limitan a las mayores latitudes o altas elevaciones.

f) Histosoles

La propiedad única de los suelos Histosoles es su muy alto contenido de materia orgánica en los 80 cm superiores. La mayoría de Histosoles son turbas, que consisten en plantas que son descompuestas por la acumulación de agua, también son formados a partir de hojarasca o musgo, o ambos.

g) Inceptisoles

Estos suelos tienen una amplia gama de características y se producen en una amplia variedad de climas. Las propiedades únicas de los Inceptisoles son una combinación de agua disponible para las plantas durante más de la mitad del año o más de 3 meses consecutivos durante una temporada cálida y uno o más horizontes de alteración o pedogénicos, concentración con poca acumulación de materiales translocados, aparte de carbonatos o sílice amorfa.

h) Molisoles

Presenta un horizonte superficial de marrón muy oscuro a negro (epipedón mólico) que representa más de un tercio del espesor combinado de los horizontes A y B, o que es más de 25 cm de espesor; un predominio de calcio entre los cationes extraíbles en horizontes A y B; un predominio de minerales de arcilla cristalinos de capacidad de intercambio catiónico moderada o alta; estos suelos presentan grietas profundas y anchas (1 cm o más de ancho).

i) Oxisoles

Las propiedades únicas de Oxisoles son meteorización extrema de la mayoría de los minerales distintos de cuarzo o caolín y óxidos libres, muy baja actividad de la fracción arcilla, y una textura franca o arcillosa (franco arenoso o más fino). Estos suelos se encuentran característicamente en regiones tropicales o subtropicales, sobre superficies de tierra que han sido estables durante mucho tiempo.

j) Espodosoles

La propiedad única de Espodosoles es un horizonte B que consiste en una acumulación de materiales amorfos negros o rojizos que tienen una alta capacidad de intercambio catiónico. Estos suelos poseen textura gruesa, Ph elevado y pocas bases. Comúnmente, la capacidad de intercambio catiónico es relacionada con la cantidad de carbono orgánico en lugar de arcilla.

k) Ultisoles

Ultisoles son suelos que tienen un horizonte argílico, con baja saturación de bases. Pueden tener cualquier régimen de temperatura y de humedad del suelo. Hay más precipitación que la evapotranspiración en alguna temporada, y algunos movimientos de agua a través de los suelos y en un sustrato húmedo o mojado.

I) Vertisoles

El concepto central de Vertisoles es suelo arcilloso con amplias grietas por algún tiempo durante el año. Se encogen cuando se secan y se hinchan cuando se humedecen. Vertisoles conforman un orden relativamente homogéneo debido a las cantidades y tipos de arcilla común a ellos; sin embargo, su microvariabilidad dentro de un pedón es grande.

2.7.2. Descripción del perfil

Los atributos observables ordinariamente descriptos a campo incluyen: composición, forma, estructura de suelo, organización del suelo, color base del suelo y moteados, distribución radicular, poros, evidencia de materiales traslocados como: carbonatos, hierro, manganeso, carbono, arcilla, consistencia del suelo.

2.7.3. Método de observación

El tamaño relativo registra el tamaño aproximado del material expuesto, este depende del método de observación utilizado para la descripción del perfil; en la tabla 13 se puede observar las dimensiones por método.

Tabla 13. Tabla de Método de Observación

Tipo	Código	Criterio: clases (rangos o tamaños corrientes)
MUESTRAS "disturbadas"		
barreno balde	BA	ej. abierto, cerrado, para arena, para barro (5-12 cm de diámetro)
barreno helicoidal	SA	ej. barrenos manuales, barreno mecánico (2-30 cm de diámetro)
MUESTRAS "no disturbadas"		
tubo de empuje	PT	ej. manual, hidráulico, tubular hueco (2-10 cm de diámetro)
corte con pala ¹	SS	ej. bloque no disturbado extraído con pala (corte de 20 x 40 cm)
PARED / PISO - Área "sin disturbar" o exposición		
pequeño pozo	SP	ej. cavado manualmente (< 1 m x 2 m)
trinchera, calcetra	TR	ej. con azada, cañerías (> 1 m x 2 m)
corte en ángulo	BC	ej. cortes de camino inclinados a < 60% de pendiente
corte	CU	ej. corte de camino, ribera, pared de pozo de préstamo de tamaño medio, con > 60% de pendiente (ej. > 4 m, < 33 m)
pozo abierto grande o canchero	LP	pozo grande de préstamo, banco grande o irregular (ej. > 33 m)

¹ Método de campo usado para investigaciones hídricas de suelos.

Fuente: USDA, 1999.

2.7.4. Límite del horizonte

Los límites del horizonte proveen información de los procesos formadores del suelo dominante que han formado a ese suelo. En algunos casos, estos reflejan los impactos antropogénicos en el paisaje del pasado. Los límites de los horizontes son descritos en términos de profundidad, distinción y topografía. La profundidad de los límites de cada horizonte se reporta en centímetros.

Se utilizan anotaciones precisas expresadas en centímetros donde los límites son claros. Sin embargo, si las profundidades de los límites están cerca de los límites diagnóstico, no se deben usar cifras redondeadas. En este caso la profundidad es indicada como un valor medio para la zona transicional (si comienza a 16 cm y termina en 23 cm, la profundidad deberá ser de 19.5 cm).

2.7.5. Clasificación taxonómica

La nomenclatura de horizontes utiliza letras mayúsculas para identificar horizontes principales, las letras minúsculas se utilizan para indicar características o rasgos adicionales del horizonte. En el cuadro de horizontes principales se le muestran las combinaciones más comunes (ver tabla 14).

Tabla 14. Horizontes y combinaciones

Horizonte	Criterios
O	Predomina la materia orgánica (residuos y humus)
A	Mineral; con acumulación de materia orgánica (humus), y pérdida de Fe, Al y arcilla
AB (o AE)	Predominan las características del horizonte A pero también presenta características del horizonte B (o E)
A/B (o A/E) (o A/C)	Cuerpos discretos, entremezclados, de material de A y B (o de E, o C); la mayor parte del horizonte es material del A
AC	Predominan las características del horizonte A pero presenta también algunas características del horizonte C
E	Mineral; con pérdida de Si, Fe, Al, arcilla o materia orgánica
EA (o EB)	Predominan las características del horizonte E pero presenta también algunos atributos del horizonte A (o B)
E/A	Cuerpos discretos, entremezclados, de material de los horizontes E y A; la mayor parte corresponde a material del E
E y Bt	Finas lamelas (Bt) dentro de un horizonte E dominante
BA (o BE)	Predominan características de B pero presenta también algunos atributos del horizonte A (o E)
B/A (o B/E)	Cuerpos discretos entremezclados de material de B y A (E); la mayor parte corresponde a material del B
B	Acumulación subsuperficial de arcilla, Fe, Al, Si, humus, CO ₃ Ca, SO ₄ Ca; o pérdida de CO ₃ Ca; o acumulación de sesquióxidos; o estructura subsuperficial
BC	Predominan características del horizonte B pero presenta también algunas características del horizonte C
B/C	Cuerpos discretos, entremezclados, de material de B y C; la mayor parte corresponde a material del B
CB (o CA)	Predominan características del horizonte C pero presenta también algunas propiedades del horizonte B (o A)
C/B (o CA)	Cuerpos discretos, entremezclados, de material de C y B (o A); la mayor parte corresponde a material del C
C	Poco o nada de alteración pedogenética, material terroso no consolidado, subsuelo rocoso blando
R	Subsuelo rocoso duro, continuo
W	Una capa de agua líquida (W) o agua permanentemente congelada (Wf) dentro del suelo (se excluye agua / hielo sobre la superficie del suelo) ²

Fuente: USDA, 1999.

Los sufijos de horizontes históricamente son denominados como “subíndice de horizontes”, los códigos más tradicionales son los siguientes (ver tabla 15).

Tabla 15. Sufijos de horizontes

Sufijo de horizontes	Criterios
a	Materia orgánica fuertemente descompuesta
b	Horizonte genético enterrado (no se usa con horizontes C)
c	Concreciones o nódulos
d	Capa densa (físicamente restrictiva para raíces)
e	Materia orgánica moderadamente descompuesta
f	Suelo permanentemente congelado o hielo (permafrost); hielo continuo subsuperficial; no estacional.
ff	Suelo permanentemente congelado (permafrost "seco"); sin hielo continuo; no estacional
g	Gley fuerte
h	Acumulación iluvial de materia orgánica
i	Materia orgánica ligeramente descompuesta
j	Acumulación de jarosita
jj	Evidencias de crioturbación
k	Acumulación pedogénica de carbonatos
m	Fuerte cementación (pedogénica, masiva)
n	Acumulación pedogenética de sodio de intercambio
o	Acumulación residual de sesquióxido (pedogenética)
p	Piso de arado u otro disturbio artificial
q	Acumulación secundaria (pedogenética) de sílice
r	Roca blanda o meteorizada
s	Acumulación iluvial de sesquióxidos
ss	"Slickensides" (planos de rozamiento)
t	Acumulación iluvial de arcilla silicatada
v	Plintita
w	Color o estructura débiles dentro del B (usado únicamente con B)
x	Características de fragipán
y	Acumulación pedogenética de yeso
z	Acumulación pedogenética de sales más solubles que el yeso

Fuente: USDA, 1999.

2.7.6. Color del suelo

El color del suelo refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo. Este se determina, generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de fierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental.

2.7.7. Moteados

Los moteados son manchas de diferentes colores o sombras de color intercalado con el color dominante del suelo. Indican que el suelo fue sujeto a condiciones de alternancia entre mojado (reducción) y secado (oxidación).

El moteado de la matriz se describe en términos de cantidad, tamaño, contraste, color y estado de humedad. Adicionalmente, se puede describir la forma.

2.7.8. Clases de Textura de suelo

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo

Los nombres de las clases texturales del material de suelo está descritos en la tabla 16 con su respectiva simbología. En adición a la clase textural, se da un estimado en campo del porcentaje de arcilla. Este estimado es útil para indicar el incremento y decremento en contenido de arcilla dentro de las clases texturales y para comparar estimaciones de campo con los resultados analíticos.

Tabla 16. Código de clase textural

Clase textural	Código	
	Conv.	NASIS
Arenosa gruesa	cos	COS
Arenosa	s	S
Arenosa fina	fs	FS
Arenosa muy fina	vfs	VFS
Areno-franca gruesa	lcos	LCOS
Areno-franca	ls	LS
Areno-franca fina	lfs	LFS
Areno-franca muy fina	lvfs	LVFS
Franco arenosa gruesa	cosl	COSL
Franco arenosa	sl	SL
Franco arenosa fina	fsl	FSL
Franco arenosa muy fina	vfsl	VFSL
Franca	l	L
Franco limosa	sil	SIL
Limosa	si	SI
Franco arcillo-arenosa	scl	SCL
Franco arcillosa	cl	CL
Franco arcillo-limosa	sicl	SICL
Arcillo-arenosa	sc	SC
Arcillo-limosa	sic	SIC
Arcillosa	c	C

Fuente: USDA, 1999.

2.7.9. Rocas y otros fragmentos

Estas son partículas discretas, estables al agua, de tamaño mayor de 2 mm. La presencia de fragmentos rocosos influye en el estado de los nutrientes del suelo, el movimiento de agua, uso y manejo de suelo. También refleja el origen y estado de desarrollo del suelo.

Los artefactos (IUSS Working Group WRB, 2006) son sustancias sólidas o líquidas que son: (i) creadas y modificadas sustancialmente por el hombre como parte de un proceso de manufacturación industrial o artesanal; o (ii) traídas a la superficie por la actividad humana a partir de una profundidad donde no eran influenciadas por procesos superficiales.

Los artefactos son útiles para identificar coluviación, ocupación humana y proceso industriales. Las rocas y fragmentos minerales grandes (>2 mm) y los artefactos son descritos de acuerdo con: tipo, porcentaje en volumen, redondez y tamaño.

2.7.10. Consistencia en los suelos

La consistencia se refiere al grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo. Incluye las propiedades del suelo como la plasticidad, adhesividad, y resistencia a la compresión. Depende en gran medida de la cantidad y tipo de arcilla, materia orgánica y contenido de humedad del suelo.

Históricamente la consistencia se aplica a suelos secos, húmedos o mojados tal como se observa en el campo (USDA, 1998). La consistencia en húmedo evalúa adhesividad y plasticidad. La resistencia a ruptura se aplica en suelo seco y suelos en estado hídrico que abarca desde húmedo ha mojado. La adhesividad y plasticidad de los suelos se evalúan por separado.

- a. **Resistencia a ruptura** es una medida de la fuerza del suelo para resistir tensión.
- b. **Adhesividad** es la capacidad del suelo de adherirse a otros objetos.

2.7.11. Rocas y otros fragmentos

El volumen se estimó en campo mediante la cantidad sobre la base del porcentaje de volumen ocupado en el perfil, el criterio tomado para clasificar in situ se ilustra en la Tabla 17.

Tabla 17. Modificadores de textura (fragmentos rocosos)

FRAGMENTOS ROCOSOS: Tamaño y Cantidad ¹	Código		Criterios: porcentaje (en volumen) del total de fragmentos rocosos, y dominados por (nombre del tamaño): ¹
	Conv.	PDP/ NASIS	
FRAGMENTOS DE ROCA DURA (> 2 mm)			
Gravoso	GR	GR	≥ 15% pero < 35% grava
Gravoso fino	FGR	GRF	≥ 15% pero < 35% grava fina
Gravoso medio	MGR	GRM	≥ 15% pero < 35% grava media
Gravoso grueso	CGR	GRC	≥ 15% pero < 35% grava gruesa
Muy gravoso	VGR	GRV	≥ 35% pero < 60% grava
Extremadamente gravoso	XGR	GRX	≥ 60% pero < 90% grava
Gujonoso	CB	CB	≥ 15% pero < 35% guijones
Muy guijonoso	VCB	CBV	≥ 35% pero < 60% guijones
Extremadamente guijonoso	XCB	CBX	≥ 60% pero < 90% guijones
Pedregoso	ST	ST	≥ 15% pero < 35% piedras
Muy pedregoso	VST	STV	≥ 35% pero < 60% piedras
Extremadamente pedregoso	XST	STX	≥ 60% pero < 90% piedras
Con bloques	BY	BY	≥ 15% pero < 35% bloques
Con abundantes bloques	VBY	BYV	≥ 35% pero < 60% bloques
Con muy abundantes bloques	XBY	BYX	≥ 60% pero < 90% bloques
Lajoso	CN	CN	≥ 15% pero < 35% lajas
Muy lajoso	VCN	CNV	≥ 35% pero < 60% lajas
Extremadamente lajoso	XCN	CNX	≥ 60% pero < 90% lajas
Con losas	FL	FL	≥ 15% pero < 35% losas
Con abundantes losas	VFL	FLV	≥ 35% pero < 60% losas
Con muy abundantes losas	XFL	FLX	≥ 60% pero < 90% losas
PARA – FRAGMENTOS DE ROCA (BLANDA) (> 2 mm)^{2,3}			
Con para-bloques	PBY	PBY	(los mismos criterios que para con bloques)
Con abundantes para-bloques	VPBY	PBYV	(los mismos criterios que para con abundantes bloques)
Con muy abundantes para-bloques	XPBY	PBYX	(los mismos criterios que para con muy abundantes bloques)
etc.	etc.	etc.	(los mismos criterios que los usados en los ítem no-para)

¹ El modificador de "Cantidad" (ej: *muy*) está basado en el contenido total de fragmentos rocosos. El modificador de "Tamaño" (ej: *guijonoso*) está basado en el tamaño de los fragmentos más grandes. Para una mezcla de tamaños (ej: *gravas y piedras*), el tamaño menor debe exceder dos veces la cantidad del tamaño mayor para ser nombrado como modificador (ej: 30% grava y 14% piedras = *muy gravoso*; 20% grava y 14% piedras = *pedregoso*).

Fuente: USDA, 1999.

2.7.12. Estructura del Suelo

Se toma una porción de suelo, procurando mantenerlo con la forma original hasta que proceda a manipularlo (ver gráfica 2).

Presione ligeramente al principio y agréguele poco a poco mayor tensión para permitir que se rompa, de tal manera que deje al descubierto la forma original de los agregados.

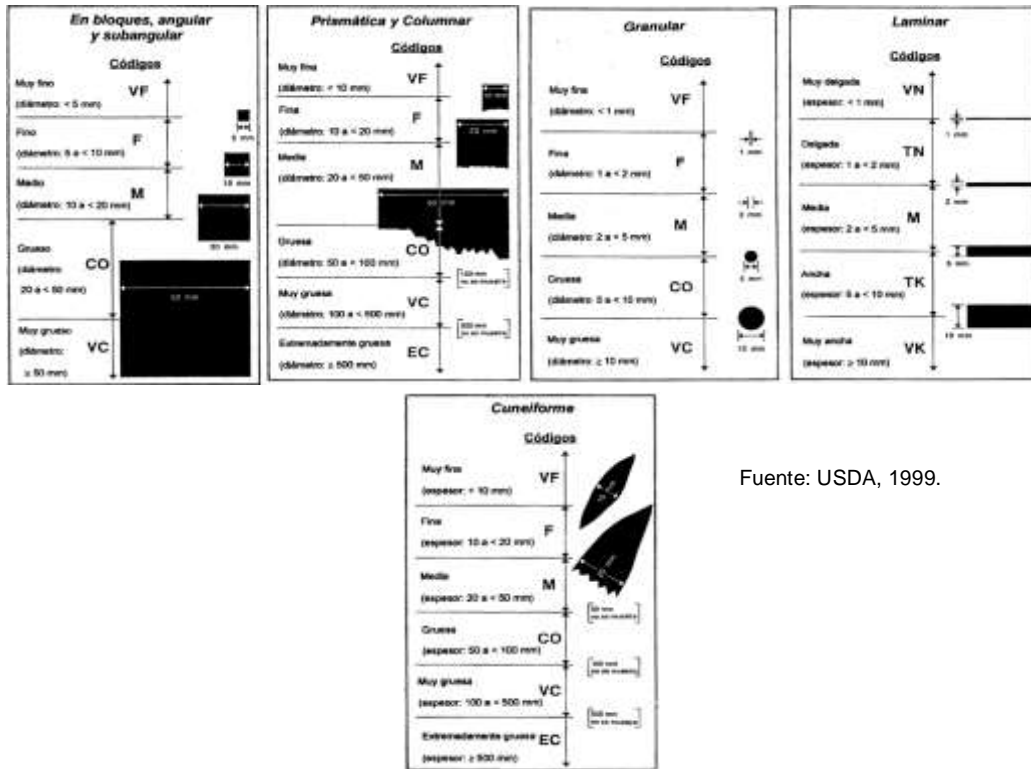
Figura 2. Tipo de estructura de suelo



Fuente: USDA, 1999.

Cuando el suelo haya cedido y se procede a identificar la estructura de este suelo a través de: El grado, Clase y Tipo. La descripción del tipo de estructura se realizó de manera visual en campo, se tomó un terrón de suelo del perfil y se comparó con las estructuras de la tabla 18 con el objetivo de determinar de tipo de estructura.

Tabla 18. Método para determinar el tipo de estructura de suelo en campo



Fuente: USDA, 1999.

2.8. Biomasa Neta y rendimiento de cultivos

La producción de biomasa económicamente aprovechable y los rendimientos de los cultivos es determinado por los factores climáticos (radiación solar y temperatura) y por las características de adaptabilidad de las plantas.

Este refleja el potencial agronómico actual de los cultivos mediante la interacción de los recursos climáticos (radiación y temperatura durante los periodos de crecimiento), y la respuesta de los procesos fisiológicos de una planta (fotosíntesis, respiración, entre otros), en dependencia de su constitución genética o de la adaptabilidad que los genes imparten al genotipo. Este potencial agronómico es el nivel de rendimiento que un cultivo puede alcanzar con impedimentos agroclimáticos.

2.8.1. Rendimiento de los cultivos

Este acápite refleja el cálculo (en quintales por manzana) de los rendimientos de los cultivos de maíz y frijol calculado de manera estadística, mediante el análisis de las pérdidas de rendimientos por efecto de déficit/exceso de agua, plagas, prácticas y mecanización agrícola. Estos rendimientos se ajustan mediante un “peso”, es decir el nivel de influencia del impedimento y su rango de afectación en la región en los cultivos de maíz y frijol, y posteriormente se reduce en un tanto por ciento, según su peso o influencia asignado.

Tabla 19. Porcentaje de pérdidas de rendimientos en los cultivos de maíz y frijol por impedimentos agroclimáticos.

Peso	Categoría	Efecto
0	Ausentes	pérdidas insignificantes
1	Débiles	pérdidas de rendimiento del orden del 10 por ciento
2	Moderados	pérdidas de rendimiento del orden del 25 por ciento
3	Graves	pérdidas de rendimiento del orden del 50 por ciento

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

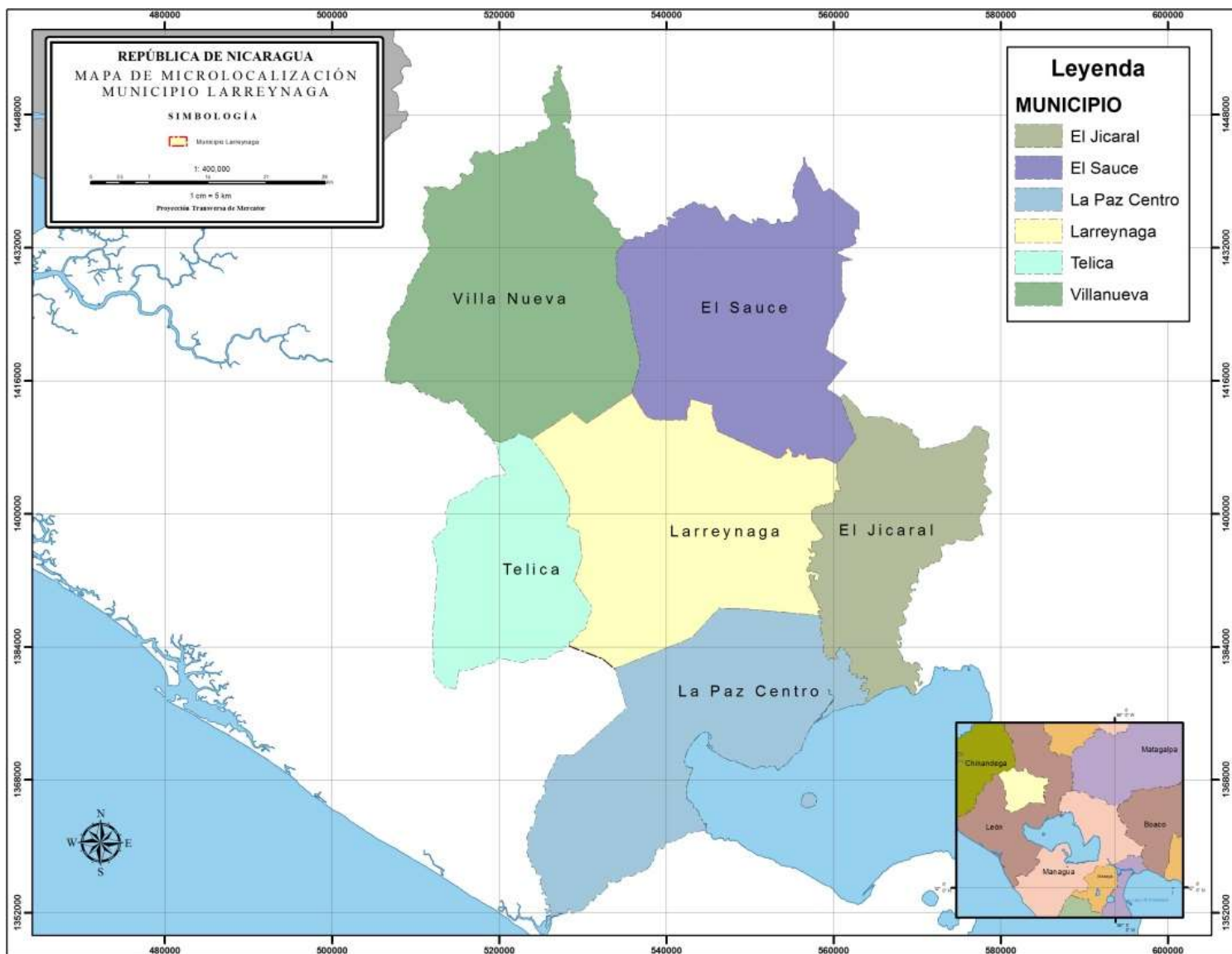
3.1. Localización del área de estudio

El municipio de Larreynaga – Malpaisillo, según la Ley de División Política Administrativa publicada en octubre de 1989 y abril de 1990, pertenece al departamento de León, región nor-occidental de Nicaragua, ubicado al norte del departamento. Está ubicado en la cercanía del complejo volcánico Cerro Negro y Momotombo. Está dividido administrativamente, hasta 2004, en 53 comunidades, de las cuales 49 son rurales y 4 son consideradas urbanas.

La población total del municipio de Larreynaga es de 36,621 habitantes (datos de la municipalidad, noviembre, 1998). La población urbana es de 13, 668 habitantes (37.32%) y la población rural 22, 953 habitantes (62.68%), aproximadamente posee una densidad poblacional de 41.2 hab. / Km².

El municipio de Larreynaga está delimitado de la siguiente forma: Al Norte: Municipios de El Sauce y Villanueva, al Sur: municipio de La Paz Centro, al Este: municipio de El Jicaral, al Oeste: municipios de León y Télica (ver mapa 1).

Mapa 1. Microlocalización municipio de Larreynaga

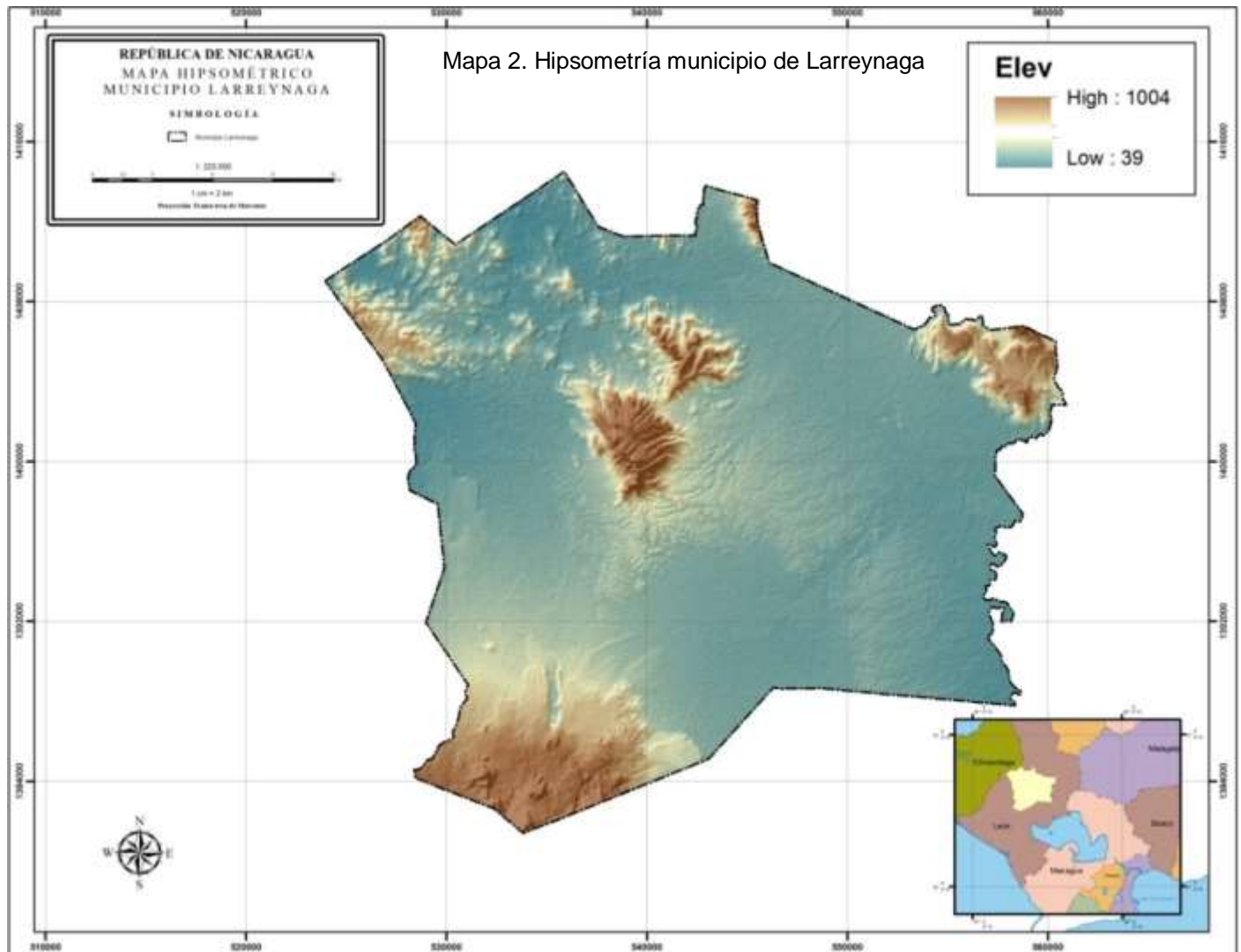


Fuente: Elaboración propia

Su posición geográfica es 12° 40' Latitud Norte, 86° 34' Longitud Oeste, su extensión Territorial es de 746 Km², ocupa el 16.97% del territorio del departamento de León. La referencia geográfica, es que su cabecera Municipal se localiza a 126 Km al noroeste de la capital y a 36 Km al este de la ciudad de León. La altura promedio sobre el nivel del mar es de 92.3 m.

3.1.1. Relieve

Los principales accidentes geográficos en el territorio son el Complejo Volcánico Cerro Negro - Las Pilas que ocupa el extremo suroeste, sirviéndole de límite con el municipio de León. La Depresión Nicaragüense ocupa el resto del territorio presentando elevaciones desde los 50 msnm hasta los 489 msnm en Cerro El Chúcaro. En la Cordillera de los Maribios las altitudes van desde los 200 msnm hasta los 1,100 msnm, que corresponde al Volcán Las Pilas; se encuentran además, el Volcán Cerro Negro con 726 msnm que frecuentemente presenta actividad fumarólica con erupciones de ceniza, arena y lava. El Cerro La Mula con 590 msnm y el Cerro Cabeza de Vaca con 666 msnm (ver mapa 2).



Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Hidrografía

En el territorio del municipio se identifican en el sector Noroeste, la cuenca del Río Galileo, que nace en la zona de lomeríos de la Comarca San Nicolás con la vertiente El Provisor, también llamada Toro Pinto, la que confluye con otra vertiente que nace en las estribaciones del cerro El Chúcaro para conformar el Río Galileo, el cual se dirige hacia el Oeste en un recorrido de 8 Km, aproximadamente, y se interna en el municipio de Télica, siguiendo hacia Villa Nueva.

Al Sector Sudeste de la Planicie de Malpaisillo se ubica el Río Sinecapa que le sirve de límite Este con el municipio de El Jicaral, tiene como tributario al río El Caimito, que nace en el municipio de El Sauce en las estribaciones del macizo de lomeríos de la Comarca Valle de San Antonio, con el nombre de Río Mescales, también se identifica una red de vertientes tributarias del Río Mescales, siendo las principales el Río Malacatoya, Santa Ana, San Andrés, El Tamarindo, La Zorra y La Ermita.

3.1.3. Geomorfología

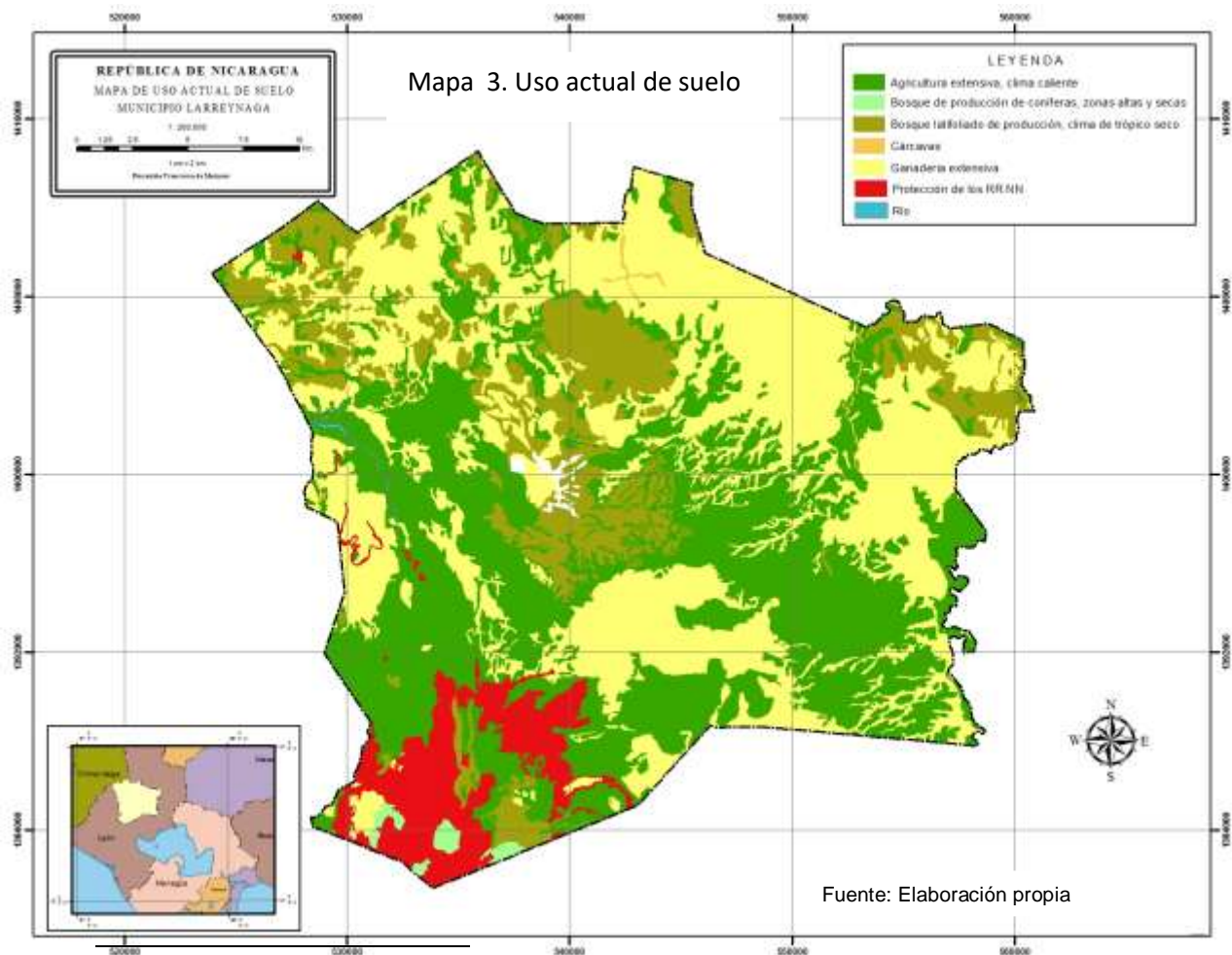
El municipio de Larreynaga - Malpaisillo está ubicado en la cercanía del complejo volcánico Cerro Negro y Momotombo en una región llamada las Provincias Geomorfológicas en la región de la Cordillera Volcánica del Pacífico y Depresión Nicaragüense. Expuesta durante siglos a los efectos de constantes erupciones volcánicas que han venido dando forma y características particulares al territorio que ocupa este municipio.

La Depresión Nicaragüense es una extensa planicie donde se distinguen algunas formaciones de lomeríos, las que se agrupan en el Sector Norte, extendiéndose en el territorio en dirección Noroeste – Sureste. Lo forman los complejos de la Mina El Limón y Santa Pancha al Noroeste con elevaciones de 100 msnm, Lomas Las Mesas 248 msnm y El Cerro Pantasma-Santa Teresa.

En el sector Sureste, se encuentran las elevaciones desde los 100 msnm hasta 540 msnm en Cerro El Chúcaro, además se identifican las formaciones: loma Portobanco y cordillera El Aguacate en el Centro Norte, 172 y 397 msnm, respectivamente, y el Complejo Mesa El Tortuguero - Cerro Monte Grande en el extremo Noreste, con elevaciones de 281 y 337 msnm, respectivamente. De acuerdo a lo anterior, podemos concluir que el municipio de Larreynaga - Malpaisillo se divide en 5 zonas: zona de Lomerías, zona de Planicie Volcánica, zona de Llanos, zona Piemonte y Áreas Protegidas.

3.1.4. Uso actual⁴

En el municipio de Larreynaga encontramos 55.3 Km² (7.4%) en bosques abiertos, más de 19.2 Km² (2.5%) en bosques cerrados, para un total 74.4 Km² de bosques latifoliados.



⁴ Información extraída de ficha municipal.

La maleza cubre un área de 73.5 Km² (9.8%) en el municipio, además en la región encontramos que 132.7 Km² (17.8%) es cubierto por pastos más maleza, para un total de 207 Km², el 27.64% del territorio en tierras ociosas y apenas 55.9 Km², es decir el 7.49% con pasto mejorado, por lo que se practica la ganadería principalmente de forma extensiva tradicional y por tanto con muy bajo rendimiento.

Por otra parte, únicamente están destinada para la agricultura 132.7 Km² (17.7%) con cultivos anuales y 36.4 Km² (4.89%) en huertos, para un total de 161.4 Km², el 21.6% para las actividades productivas alimenticias.

Se reportan 1.2 Km², el 0.2%, con tierras habitadas; y lo que se reporta como tierras habitadas, apenas corresponde a Malpaisillo y no se toma en cuenta Larreynaga, Mina el Limón, Santa Pancha, La Sabaneta, Calle Real de Tolapa, La Montaña, Santa Rosa de los Parrales como centros poblados.

3.2. Inventario climático.

Consistió en realizar un inventario de las estaciones climáticas que circundan en el municipio de Larreynaga, con el objetivo de establecer la cantidad de años con información climática que poseen las estaciones meteorológicas de la región de estudio para las variables de precipitación, temperatura y radiación solar.

Se utilizaron 15 estaciones meteorológicas (ver tabla 20) , 3 estaciones ubicadas dentro del municipio de Larreynaga y 12 de referencia, ubicadas en los alrededores del municipio, se seleccionó un periodo de registro de 39 años (1971 – 2010) para la información mensual de las distintas variables.

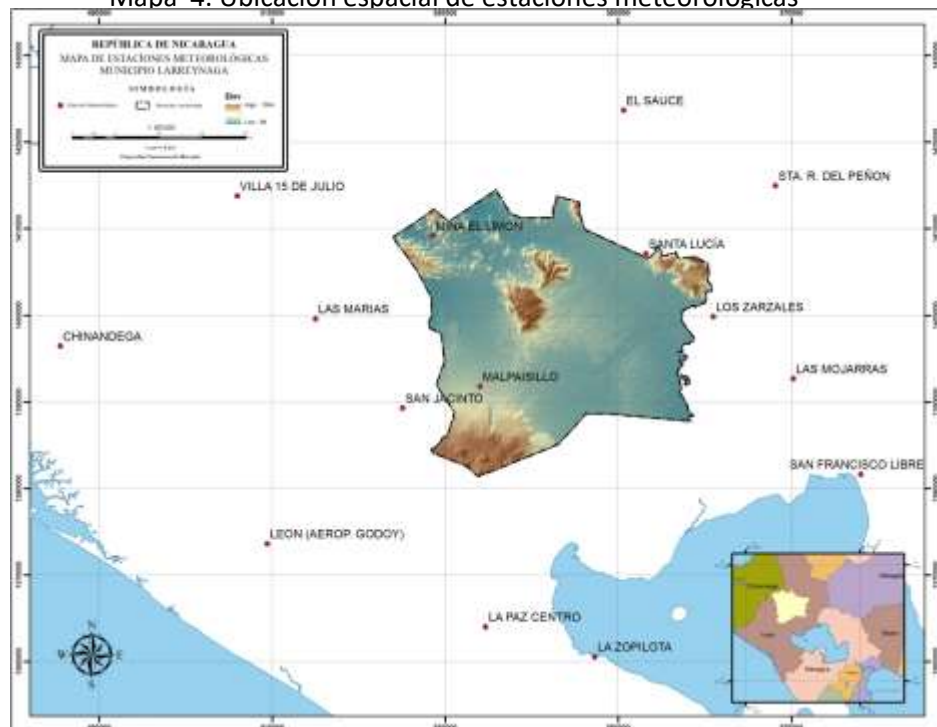
Tabla 20. Estaciones meteorológicas seleccionadas

Nº	CODIGO	NOMBRE DE ESTACION	TIPO	LAT	LONG	ELEVACION MSNM	REGISTRO
1	69120	LAS MOJARRAS	PV	12.5983	-86.3533	70	84-08
2	69025	SAN FRANCISCO LIBRE	PV	12.4983	-86.2817	50	56-08
3	69123	LA PAZ CENTRO	PV	12.3397	-86.6811	80	84-08
4	69036	LA ZOPILOTA	PV	12.3083	-86.5650	40	62-08
5	69059	STA. R. DEL PEÑON	PV	12.8000	-86.3717	180	69-08
6	60005	EL SAUCE	HMO	12.8761	-86.5350	180	71-05
7	60021	SAN JACINTO	PV	12.5683	-86.7689	360	84-11
8	60020	LAS MARIAS	PV	12.6617	-86.8617	85	75-11
9	64043	LEON (AEROP. GODOY)	HMP	12.4267	-86.9133	60	74-08
10	60009	VILLA 15 DE JULIO	PV	12.7900	-86.9450	20	71-10
11	64018	CHINANDEGA	HMO	12.6333	-87.1333	60	66-11
12	69094	LOS ZARZALES	PVR	12.6633	-86.4383	70	73-08
13	60004	MALPAISILLO	PV	12.5908	-86.6867	105	62-11
14	60002	MINA EL LIMON	PV	12.7483	-86.7367	80	69-11
15	60030	SANTA LUCÍA	PV	12.7292	-86.5097	100	97-11

Fuente: Elaboración propia

La base de datos climática fue solicitada al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), a través de la Dirección General de Meteorología, con rango de tiempo mensual para todas las variables climáticas para los 39 años del periodo utilizado (Mapa 4, ubicación espacial de las estaciones meteorológicas).

Mapa 4. Ubicación espacial de estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Gestión de datos climáticos

a) Método de carrera

Este método consiste en ordenar los datos de menor a mayor obteniéndose la mediana de la serie; ésta se compara con los valores ordenados cronológicamente; si el valor es mayor que la mediana se designa con la letra “A” y si es menor con la letra “B”. Cada vez que se pasa de A a B o de B a A se obtiene una carrera.

El número de carreras se compara con los valores de la tabla distribución del número de carreras del valor de N_a (número de años), simultáneamente se observa si el número de carreras obtenido se encuentra entre los límites de probabilidades de P (0.1) y P (0.9), de ser así entonces la serie es homogénea (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Distribución del número de carrera para los datos climáticos (zona de estudio)

Na	P	
	0.1	0.9
10	8	13
11	9	14
12	9	16
13	10	17
14	11	18
15	12	19
16	13	20
17	14	21
18	15	22
19	16	23

Fuente: Elaboración propia

b) Método de doble masa

Este método se basa en contrastar la información anual acumulada de una estación con la información anual acumulada de los valores promedios de todas las estaciones; obteniéndose como resultado una línea recta en el caso que los datos sean consistentes. De esta manera se pueden detectar los posibles errores que contiene una serie de datos, mediante quiebres.

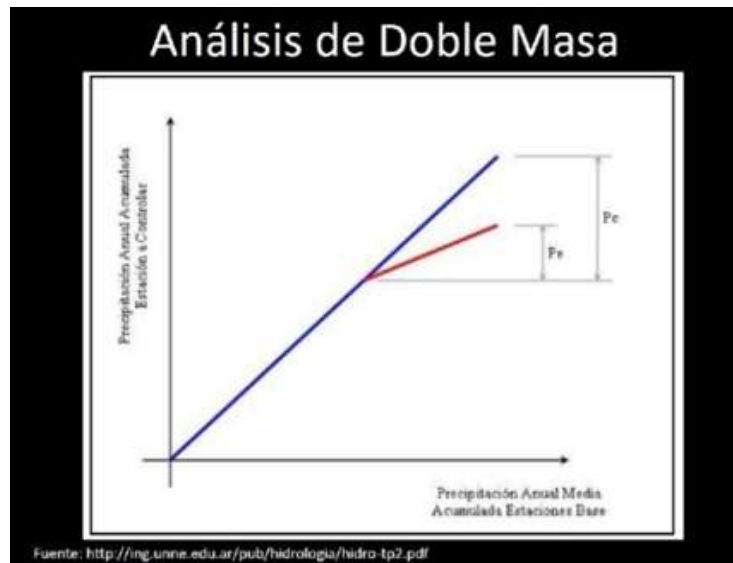
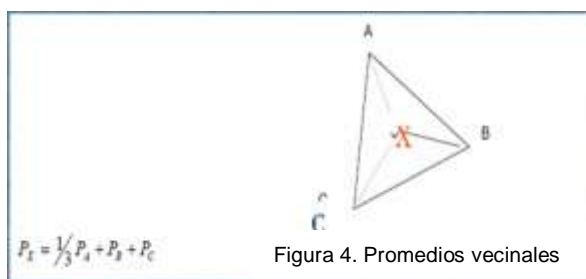


Figura 3. Método doble masa

3.2.2. Homogeneidad de series climáticas

a. Método de promedios vecinales.



En este método se debe considerar la distribución espacial de la estación meteorológica con carencia de datos con las estaciones índice, debido a que una mala distribución espacial de las

mismas, conllevaría a un error en la estadística del relleno.

En la figura 4 se muestra una distribución de pluviómetros en un área dada. Las estaciones A, B, C, son denominadas índice, para la determinación de los datos faltante en la estación X.

En el caso de la precipitación anual, las estaciones índices deben de presentar promedios anuales en un periodo mínimo de 25 años el cual difiera solamente en un 10% con relación a la estación bajo estudio (X), entonces la precipitación (Px), para un periodo dado, se puede obtener mediante un simple promedio aritmético:

$$P_x = \frac{1}{3} P_A + P_B + P_C$$

b. Método de correlación lineal

Valiéndose de una estación índice con similares acumulados de precipitación se realiza el relleno del dato faltante. La correlación se realiza con la siguiente formula:

$$y = a + (b \cdot x)$$

Dónde:

y = estación a rellenar

x = estación base

Condiciones que debe cumplir las estaciones para poder correlacionarse:

a) $-1 \leq r \leq 1$

$$r = \frac{\frac{1}{n} [\Sigma(X_i - X_m)](Y_i - Y_m)}{\left\{ \left[\frac{1}{n} [\Sigma(X_i - X_m)^2] * \frac{1}{n} [\Sigma(Y_i - Y_m)^2] \right] \right\}^{1/2}}$$

b) Si Tc está en el rango de -

$T_{\alpha/2, n-2}$ y $+T_{\alpha/2, n-2}$, no se correlacionan

$$T_c = \frac{r (n - 2)^{1/2}}{[1 - (r)^2]^{1/2}}$$

Obtenemos un valor crítico Tt, correspondiente a un nivel de significancia del 5%.

$$T_t = T_{\alpha/2, n-2}$$

Es importante mencionar que hay que tener sumo cuidado en estaciones ubicadas en sistemas montañosos, cercanos a cuerpos de agua y ciudades, ya que estas condiciones generan un microclima y pueden representar ruido en este método de relleno.

c. Método proporción normal

Se utilizó cuando la estación no presenta muchos datos faltantes continuos en su registro (menos de 6 meses). De acuerdo a la definición de términos, esta ecuación se expresa de la siguiente manera:

Dónde:

$$\frac{x_i}{x_{imensual}} = \frac{(\sum x_i + \dots + \sum x_n)}{x_{ianual}} + \Sigma_{anual}$$

x_i =Precipitación del mes de estudio.

$(\sum x_i + \dots + \sum x_n)$ = suma de precipitaciones mensuales del año de estudio.

$x_{imensual}$ = promedio mensual para todos los años registrados.

Σ_{anual} = suma anual del año en estudio.

x_{ianual} = promedio anual para todos los años de registro.

3.2.3. Distribución anual de precipitación

Para el estudio de régimen de precipitación del municipio de Larreynaga, se utilizaron 15 estaciones meteorológicas⁵ ubicadas dentro y fuera del municipio, entre las cuales se encuentran 12 pluviométricas (PV), una ordinaria (HMO) y dos estaciones principales (HMP).

⁵ Se presentan las características de las estaciones utilizadas en tabla 17.

De estas, 13 se encuentran fuera del límite del municipio de Larreynaga: El Sauce, Santa Lucía, Las Marías, San Jacinto, León, La Zopilota, Santa Rosa del Peñón, Villa 15 de Julio, Chinandega, La Paz Centro, San Francisco Libre, Las Mojarras y Los Zarzales, éstas fueron consideradas en el análisis por encontrarse cercanas al municipio de Larreynaga, con el objetivo de tener más elementos de juicio para el análisis del comportamiento espacial de la precipitación. Las estadísticas de las series climáticas se realizaron mediante el programa Excel 2010, se compararon los acumulados mensuales, los subperíodos lluviosos, el periodo seco y se generó un mapa mediante, en el cual se puede observar la distribución espacial de los acumulados promedios anuales de la precipitación en el municipio de Larreynaga.

3.2.4. Comportamiento de la temperatura media

Para el análisis del comportamiento de la temperatura media en el municipio de Larreynaga, primeramente, se han calculado los gradientes altotérmicos mensuales característicos, utilizando las dos estaciones meteorológicas que registran esta variable climática en la región (estación León y El Sauce). Una vez determinados los gradientes se generaron datos de temperatura media para puntos de grilla dentro del municipio de Larreynaga obtenidos a partir de un DEM (capa de elevación en msnm) con base a la siguiente relación:

$$T_{ij} = T_{0j} + - (VT * (h_{ij} + h_{0j}))/100$$

Dónde:

T_{ij} corresponde a la temperatura media mensual a ser calculada en el punto de grilla; T_{0j} es el valor de temperatura media mensual de la estación ubicada en la altitud más baja; VT el gradiente de temperatura para determinado mes expresado en °c por cada 100 mm; h_{ij} la altitud en metros proporcionada por el DEM para cada punto de grilla y h_{0j} la altitud e metros de la estación ubicada en la más baja altitud.

3.2.5. Clasificación climática según Köppen modificado

Esta metodología es el resultado de las modificaciones de la Dr. Enriqueta Gracia en 1988, cuya finalidad ha sido ajustar el sistema de clasificación climática de Köppen a las condiciones particulares de la región tropical. A continuación la metodología y fórmulas utilizadas en el cálculo de la Clasificación Climática del municipio de Larreynaga.

Tabla 22. Temperaturas medias de estaciones meteorológicas en el área de estudio (Periodo 1971-2010).

ESTACIÓN : El Sauce

CODIGO : 60005

ELEVACIÓN : 180 msnm

MES	TEMP.MED
ENERO	25.6
FEBRERO	26.4
MARZO	27.5
ABRIL	27.9
MAYO	27.3
JUNIO	25.3
JULIO	26.2
AGOSTO	26.3
SEPTIEMBRE	25.5
OCTUBRE	25.3
NOVIEMBRE	25.3
DICIEMBRE	25.1

ESTACIÓN : León

CODIGO : 64043

ELEVACIÓN : 60 msnm

MES	TEMP.MED
ENERO	27.1
FEBRERO	28
MARZO	28.8
ABRIL	29.4
MAYO	28.4
JUNIO	27.3
JULIO	27.4
AGOSTO	27.3
SEPTIEMBRE	26.4
OCTUBRE	26.1
NOVIEMBRE	26.2
DICIEMBRE	26.4

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de tabla 22, en la cual se muestran las temperaturas medias para el período 1971-2010, se han determinado las distintas clasificaciones climáticas que hay en el municipio de Larreynaga. Como se explica anteriormente en la metodología, se evaluaron según Köppen con las modificaciones realizadas por Dr. Enriqueta García (1988).

Una vez determinado los distintos tipo de clima se ha realizado una subdivisión al clima **Aw**, (Tropical cálido) se tomó como base de comparación el cociente de dividir la precipitación total anual expresada en milímetros (mm) entre la temperatura media anual en grados Celsius.

Este valor **P/T** representa la relación que existe entre los dos elementos más importantes del clima y es un índice de humedad conocido como índice de Lang. Basado en los resultados de este índice se obtienen los siguientes sub-tipo de clima en las regiones tropicales.

Aw₀ = $P/T < 43.2$ mm Clima caliente y sub-húmedo con lluvias en verano, es el más seco dentro del clima de Sabana Tropical de Köppen.

Aw₁ = $43.0 \text{ mm} < P/T < 55.3\text{mm}$.Cálido sub-húmedo intermedio con régimen de lluvia en verano.

Aw₂ = $P/T > 55.3$ mm. Cálido sub-húmedo, de mayor humedad con régimen de lluvia en verano.

3.2.6. Amenaza por sequía meteorológica

La tabla 22, muestra el sistema de clasificación del índice estandarizado de precipitación (IPE). Un evento de sequía ocurre en cualquier tiempo que el IPE sea continuamente negativo y alcance una intensidad menor o igual a -1.0. El evento termina cuando el IPE llega a ser positivo. Cada evento seco tiene una duración definida por su principio y fin, y una intensidad para cada mes.

Chinandega		64018			
Año	Mes	1	3	6	12
1971	1	0.75	-99.00	-99.00	-99.00
1971	2	0.60	-99.00	-99.00	-99.00
1971	3	0.00	-0.33	-99.00	-99.00
1971	4	-0.76	-1.28	-99.00	-99.00
1971	5	-0.17	-0.35	-99.00	-99.00
1971	6	-0.88	-1.11	-1.14	-99.00
1971	7	-0.09	-1.00	-1.17	-99.00
1971	8	0.17	-0.52	-0.90	-99.00
1971	9	0.94	0.54	-0.10	-99.00
1971	10	0.19	0.50	-0.01	-99.00
1971	11	0.92	0.70	0.23	-99.00
1971	12	-0.35	0.32	0.46	0.00

Ejemplo 1. Índice de sequía IPE, calculado para periodos de 1,3,6 y 12 meses para la estación meteorológica de Chinandega

La suma de los IPE para todos los meses dentro de un evento de sequía es la magnitud de la sequía.

En la zona de estudio se calculó la amenaza por sequía meteorológica utilizando el índice de precipitación estandarizado (IPE) resultado realizado con la herramienta del software ⁶ “SPI_SL_6” en el que se realizó el siguiente proceso:

Tabla 23. Intensidad de sequía	
Índice de sequía IPE	Intensidad
-1.0 a -1.49	Sequía moderada
-1.5 a -1.99	Sequía severa
-2.0 o menos	Sequía extrema

Fuente: OMM, 2012

La ocurrencia de la sequía se calculó por medio de la probabilidad frecuencial o empírica que se fundamenta en los datos obtenidos por una serie larga de mediciones de precipitación bajo las mismas circunstancias y condiciones.

Para determinar la probabilidad frecuencial, se contabilizó el número de veces que el IPE fue menor a -1.0, entre el número total de datos de 1971 a 2010.

El programa se ejecutó para 15 estaciones meteorológicas, dando como resultado la intensidad, magnitud y duración de la sequía por cada estación.

Tabla 24. Frecuencia porcentual de sequía

Sequía	No. Casos	Frecuencia (%)
Moderada	131	30
Severa	21	5
Extrema	9	2
Total	161	37

Tabla 25. Probabilidad de ocurrencia de sequía	
Mayor de 34%	Alta
Entre 27% - 33.9%	Media
Entre 18% - 26.9%	Baja

Fuente: OMM, 2012.

⁶ detalles del programa se puede consultar el sitio Web del Centro Climático del Colorado de los Estados Unidos

En base los resultados de las tablas 24 y 25, se elaboró un sistema de clasificación que vincula la intensidad con la ocurrencia del evento para delimitar sobre el municipio de Larreynaga la amenaza por sequía meteorológica (ver tabla 26).

Tabla 26. Determinación del nivel de amenaza por sequía

Sistema de clasificación para determinar el nivel de amenaza por Sequía Meteorológica			
Probabilidad /Ocurrencia (%)	Intensidad de la sequía		
	Extrema [IPE ≤ -2]	Severa [-2.0 < IPE ≤ -1.5]	Moderada [-1.5 < IPE ≤ -1]
Alta (mayor de 34%)	Amenaza Alta	Amenaza Alta	Amenaza Alta
Media (26% - 34%)	Amenaza Media	Amenaza Media	Amenaza Baja
Baja (18% - 26%)	Amenaza Media	Amenaza Baja	Amenaza Baja
(Menor de 18%)	Sin Amenaza		

Fuente: INETER, 2014

3.3. Periodo de crecimiento⁷

3.3.1. Calculo de evapotranspiración de referencia (ET_o).

Se determinó la Evapotranspiración de Referencia (E_{to}) mediante la ecuación de Penman-Monteith modificada por FAO (FAO 56), este se vale de distintos factores meteorológicos para la determinación de la E_{to} (por ejemplo como los componentes del clima que proporcionan energía para la vaporización y extraen vapor de agua de una superficie evaporante).

Los datos meteorológicos consisten en:

- a) **Temperaturas del aire:** temperatura máxima (T_{max}) y temperatura mínima (T_{min}) promedio diarios para período de diez días o mensuales.

⁷ Todos los cálculos han sido automatizados mediante el software Excel 2010.

- b) Humedad del aire:** promedio mensual o decenal de la presión real de vapor (e_a) derivada del psicrómetro, del punto de condensación o de los datos de humedad relativa.
- c) Velocidad del viento:** valores promedios decenales o mensuales de la velocidad diaria del viento medida a 2 metros de altura (u_2).
- d) Radiación:** promedio decenal o mensual de la radiación neta diaria (R_n), obtenido de la media decenal o mensual de la radiación de onda corta media o de la duración real de las horas diarias de insolación (n). La radiación extraterrestre (R_a) y las horas de duración máxima de insolación (N) para un día específico del mes.

Una vez calculada la ET_o^8 (formulas en anexos 4), se procede a realizar el cálculo de la evapotranspiración de los cultivos de maíz y frijol y posteriormente el balance hídrico agrícola con el objetivo de determinar el periodo óptimo de crecimiento.

3.3.2. Balance hídrico

Los cálculos del periodo de crecimiento se basan en un modelo de Balance Hídrico Agrícola, en el que se relacionan las precipitaciones (P) con la evapotranspiración potencial del cultivo (ET_c)⁹, a continuación describimos la metodología:

$$Ar_i = Ar_{i-1} - P_i - AC_i + ET_c$$

Dónde:

Ar_i – agotamiento de agua en la rizosfera al final del período i (mm)

Ar_{i-1} - agotamiento de agua en la rizosfera al final del período anterior $i-1$ (mm)

P_i – precipitación efectiva i (mm)

ET_c – evapotranspiración de cultivo ajustada en el período i (mm)

⁸ En Anexos se encuentran las ecuaciones para el cálculo de ET_o , mediante el método elaborado por Penman-Monteith y modificado por FAO (FAO 56),

⁹ Las tablas de periodo de crecimiento y balance hídrico agrícola se presentan en anexos.

a. Cálculo de la precipitación efectiva

En superficies inclinadas se asume que una fracción de la precipitación se pierde por la escorrentía superficial, este valor se calcula por el método propuesto por Rojas (1983), citado por Martelo (1997) que toma en cuenta la textura de los suelos y la pendiente de su superficie. En el método se resta el valor de la altura de la precipitación reportado por cada estación pluviométrica el valor del coeficiente de pérdida de lluvia (ver tabla 27).

Tabla 27. Coeficientes de pérdidas de lluvia

Pendiente	Permeables (Livianos)	Semi- Permeables (Medio)	Impermeables (Pesados)
menor a 8%	0.1	0.15	0.2
8%-20%	0.2	0.3	0.4
Mayor a 20%	0.4	0.5	0.6

Fuente: FAO, 1993.

b. Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_c)

Este se obtiene como resultado del producto de la evapotranspiración de referencia de ese mismo período, calculado por el método de Penman-Monteith por los coeficientes de cultivo que relacionan Allen et. al. (1998).

$$ET_c = K_c * ET_o$$

c. Cálculo del déficit y los excesos de agua

Se define como déficit hídrico en el balance hídrico del suelo a la diferencia con valores negativos, dando a entender la cantidad de milímetros de agua que debió entrar a la zona de las raíces y evitar que la planta estuviera en estrés hídrico.

Este concepto es muy importante para calcular el “índice de satisfacción de las necesidades hídricas”, que es el elemento más característico del método de seguimiento y pronóstico agrometeorológico de los cultivos (Frére y Popov, 1986) y que indica de manera acumulativa la razón entre la evapotranspiración y la necesidad hídrica del cultivo.

Se define como exceso hídrico, la precipitación después de restar las necesidades hídricas del cultivo y haber alcanzado la capacidad de campo. Este valor representa el agua que se pierde por escorrentía y/o percolación profunda y de hecho, da un valor aproximado de la magnitud del sistema de drenaje necesario o sobre la posibilidad de represar el agua.

3.4. Inventario de Suelos

La toma de muestras de suelo en un perfil tiene como objetivo la descripción de un suelo, por que dichas muestras son las que nos permiten analizar, caracterizar y clasificar un suelo. La metodología utilizada para la descripción de suelos en el municipio de Larreynaga es la publicada por USDA en 1999 “Libro de campo para descripción y muestreo de suelo”, cuya metodología, materiales utilizados y resultados se describen a continuación:

3.4.1. Encuestas y reconocimiento del municipio de Larreynaga

Se realizaron encuestas en las distintas comunidades (Las Marías, Malpaisillo, Mina El Limón, El Sauce, El Almendro, Santa Lucia, La Virgen, La Unión, Quebrada Honda y La Majada) y sectores productivos del municipio Larreynaga, para obtener la información sobre el clima, manejo de suelos, producción agrícola, entre otros. (Ver formato de encuesta en Anexos 1).



Figura 5. Las Marías.

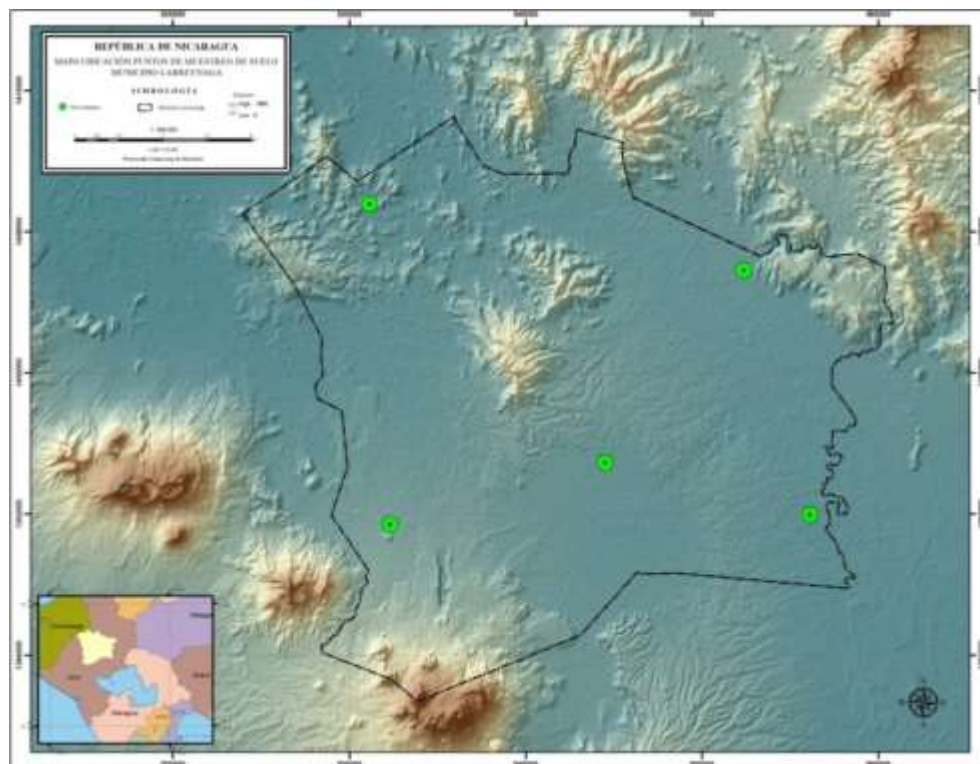
Para el estudio utilizamos métodos estadísticos tipo II (efectos aleatorios), este se implementa cuando los tratamientos y demás factores que intervienen en unos experimentos son elegidos al azar de una población. (Soto R. Iván, 2003).

De igual manera se realizó un recorrido por todo el municipio de Larreynaga, identificando: accidentes geográficos, cuerpos de agua presentes en la zona y sistemas productivos, con el objetivo de reconocer el entorno. Además se visitaron las estaciones meteorológicas inmersas en el área estudio para reconocimiento de su lugar emplazamiento.

3.4.2. Levantamiento de perfiles de suelo

Paralelo a las encuestas realizadas en el municipio de Larreynaga, se efectuó la descripción del suelo in situ, el método de observación fue el de trinchera o calicata (TR) con área de 1m x 2m. En el mapa 5 se presentan las ubicaciones de los puntos de levantamiento y descripción del suelo en el municipio de Larreynaga.

Mapa 5. Levantamiento de muestras de suelo municipio Larreynaga



3.4.3. Materiales utilizados

- Pala
- Barra y Pico
- Cuchillo
- Recipiente (bandeja)
- Hoja de asentamiento
- Metro (Para medir profundidades de horizontes)
- Tabla Munsell

3.4.4. Descripción de suelos por USDA



Figura 6. Calicata en Las Lomas

Describir las distintas morfologías y otras características del suelo se realiza mediante un perfil o calicata, lo suficientemente grande para permitir la examinación y descripción necesaria de los diferentes horizontes del suelo (1 m x 2 m). Primero se registraron las características de la superficie del suelo. Luego, se realiza la descripción del suelo, horizonte por horizonte, comenzando con el superior.

1. Topografía del límite del horizonte

La topografía se realiza de manera visual, identificando la forma del contacto entre horizontes, en una sección transversal (ver tabla 28).

Tabla 28. Criterios topográficos

Topografía	Código	Criterio
Plana	S	Planar, con ninguna o pocas irregularidades
Ondulada	W	El ancho de la ondulación es > que la profundidad
Irregular	I	El ancho de la ondulación es > que el espesor
Quebrada	B	Horizontes discontinuos, discretos pero entremezclados, o cavidades irregulares

Plano

Ondulado

Irregular

Quebrado

Fuente: USDA, 1999

2. Color del suelo



Figura 7. Malpaisillo.

El color de la matriz del suelo de cada horizonte se registró en condiciones secas, utilizando la carta o Tabla de Colores de Suelos Munsell (Munsell, 1975).

Los colores se disponen y clasifican sistemáticamente en términos de tres variables conocidas en el sistema Munsell, como es: el matiz, color espectral dominante (rojo, amarillo, violeta, verde o azul); el valor es la claridad u oscuridad de los rangos de color 1 (oscuro) a 8 (claro); y el croma, pureza o fuerza del rango de color

desde 1 (pálido) a 8 (brillante). Cuando no hay un color de suelo matriz dominante, el horizonte se describe como moteado y se dan dos o más colores.

3. Moteado

Se describe la cantidad, tamaño y contraste de los moteados en el perfil de manera visual.

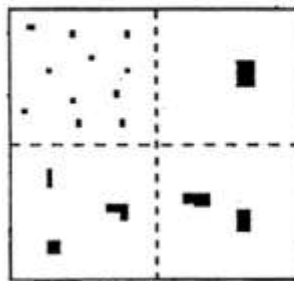
La cantidad de moteados se clasifican en escasos, comunes o abundantes (Ver Tabla 29).

El registro del tamaño

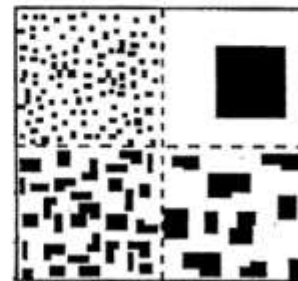
moteado se usa el largo del moteado si es mayor que dos veces el ancho; se utiliza el ancho, si el largo es menor que dos veces el ancho. La tabla 30 ilustra la clase del tamaño a clasificar en campo.

Tabla 29. Cantidades de moteado (porcentajes de área cubierta)

Clase de cantidad	Código		Criterio: rango en porcentaje
	Conv.	NASIS	
Escasos	f	%	< 2% del área cubierta
Comunes	c	%	2 a < 20% del área cubierta
Abundantes	m	%	≥ 20% del área cubierta



2 %



20 %

Fuente: USDA, 1999

4. Contraste de colores en los suelos

Se registró la diferencia de color entre el moteado y el color dominante de la matriz. Se utilizó la siguiente tabla para expresar la diferencia (ver tabla 30).

Tabla 30. Diferencia de color, matiz y moteado

Clase de contraste	Código	Diferencia de color entre matriz y moteado		
		Matiz	Luminosidad	Intensidad
Débil	F	misma página	0 a ≤ 2	y ≤ 1
Preciso	D	misma página	> 2 a < 4	y < 4
		1 página	< 4	y > 1 a < 4
Prominente	P	misma página	≥ 4	o ≥ 4
		1 página	> 2	o > 1
		≥ 2 páginas	≥ 0	o ≥ 0

Fuente: USDA, 1999

5. Clases Texturales

El contenido de arena, arcilla y limo fue estimado manualmente en el campo, sintiendo, mediante el tacto, los distintos constituyentes de los horizontes. Para esto, la muestra de suelo debe estar en un estado de húmedo a débilmente mojado y se deben remover las gravas u otros constituyentes > 2mm.

Los constituyentes tienen la siguiente sensación:

- Arcilla: se adhiere a los dedos, es cohesivo (pegajoso), es moldeable, tiene una alta plasticidad y tiene una superficie brillante luego de apretar entre los dedos.
- Limo: se adhiere a los dedos, no es pegajoso, es débilmente moldeable, tiene una superficie áspera y rasposa luego de apretarlo entre los dedos y una sensación harinosa (como el polvo del talco).
- Arena: no se puede moldear, no se adhiere a los dedos y se siente muy granuloso.

Luego los porcentajes se ubican en el triángulo textural y se determina la clase textural (ver figura anexo 3).

6. Grado de la estructura de los suelos

Se describe el grado de desarrollo de la estructura en campo mediante la tabla 31.

Tabla 31. Criterios de grado de estructura de suelo

Grado	Código	Criterios
Sin estructura	0	No se observan unidades discretas <i>in situ</i> o en muestras de mano
Débil	1	Las unidades son escasamente visibles <i>in situ</i> o en muestras de mano
Moderada	2	Las unidades están bien formadas, y son evidentes <i>in situ</i> o en muestras de mano
Fuerte	3	Las unidades son muy claramente observables <i>in situ</i> (suelo no disturbado), y se separan limpiamente cuando se disturban

Fuente: USDA, 1999

Tabla 32. Clase de tamaño de la unidad estructural

Las clases de tamaño de determinaron mediante la tabla 32.

Clase de tamaño	Codigo		Criterio: tamaño de la unidad estructural ¹ (mm)		
	Conv.	NASIS	Granular, laminar ² (espesor)	Columnar, prismática, cuneiforme ³	En bloques, angulares y subangulares
Muy fina (Muy delgada ²)	vf (vn ¹)	VF (VN ¹)	< 1	< 10	< 5
Fina (Delgada ²)	f (fn ¹)	F (FN ¹)	1 a < 2	10 a < 20	5 a < 10
Media	m	M	2 a < 5	20 a < 50	10 a < 20
Gruesa (Ancha ²)	cg (tk ²)	CQ (TK ²)	5 a < 10	50 a < 100	20 a < 50
Muy gruesa (Muy ancha ²)	vc (vk ²)	VC (VK ²)	≥ 10	100 a < 500	≥ 50
Extremadamente gruesa	ec	EC	—	≥ 500	—

¹ Los límites de tamaño siempre denotan las dimensiones menores de las unidades estructurales.
² Sólo en estructuras laminares, sustituya delgada por fina, y ancha por gruesa, en los nombres de las clases de tamaño.
³ La estructura cuneiforme está por lo general asociada con Vertisoles (para los cuales constituye un requerimiento) o con suelo

Fuente: USDA, 1999

7. Resistencia a la ruptura

La prueba de campo consistió en realizar bloques/agregados/terrones y para costras superficiales y láminas de suelo, los fragmentos deben medir aproximadamente 2.8 cm y las costras entre 1-1.5 cm. Se estima la resistencia en base a la fuerza requerida para romper una unidad de suelo (ver figura 7).

Tabla 33. Tipos de ruptura en los suelos

Clase	Seco	Húmedo	Cementación	La muestra se rompe bajo	
Clase	Código	Clase	Código	Clase	Código
Suelto	L d (lo)	Suelto	m (lo)	No aplicable	No se obtuvo una muestra intacta
Blando	S d (so)	Muy friable	VFH m (vfr)	No cementado	NC Muy ligera fuerza entre los dedos. < 5N
Ligeramente duro	SH d (sh)	Friable	FR m (fr)	Extremadamente débil cementación	EW Ligera fuerza entre los dedos. 5 a < 20 N
Moderadamente duro	MH d (h)	Firme	F m (f)	Muy débilmente cementado	VW Fuerza moderada entre los dedos. 20 a < 40 N
Duro	HA d (do)	Muy firme	VFJ m (vfr)	Debilitado	W Mucha fuerza entre los dedos. 40 a < 80 N
Muy duro	VH d (vo)	Extremadamente firme	EF m (ef)	Moderadamente cementado	M Fuerza moderada entre los manos. 80 a < 160 N
Extremadamente duro	EH d (eh)	Ligeramente rígido	SR m (er)	Fuertemente cementado	ST Presión del pie con todo el peso del cuerpo. 160 a < 800 N
Rígido	R d (ri)	Rígido	R m (r)	Muy fuertemente cementado	VS Golpe de < 3 J, pero sin peso del cuerpo. 800 N a < 3 J
Muy rígido	VR d (vr)	Muy rígido	VR m (vr)	Endurecido	I Golpe de ≥ 3 J. (3 J = 2 kg de peso cayendo desde 15 cm)

Esto no es un chequeo a campo; la muestra debe ser secada al aire durante la noche y luego sumergida en agua por un mínimo de 1 hora antes del chequeo.
 Los códigos entre paréntesis son criterios obsoletos (Soil Survey Staff, 1951).

Figura 8. Prueba consistencia



Costras / Láminas



Adhesividad

La adhesividad se estima en campo, con el contenido de humedad que más intensamente muestra adhesividad, cuando se ejerce presión entre pulgar e índice.

Tabla 34. Criterios de estimación de adhesividad en los suelos

Clase de adhesividad	Código			Criterio: trabaje el suelo humedecido, entre pulgar e índice
	Conv.	PDP	NASIS	
No adhesivo	(w)so	SO	SO	Poco a nada de suelo permanece adherido a los dedos, luego de suspender la presión.
Ligeramente adhesivo	(w)ss	SS	SS	El suelo se adhiere a ambos dedos, luego de suspender la presión. El suelo se estira un poco al separarse los dedos.
Moderadamente adhesivo	(w)s	S	MS	El suelo se adhiere a ambos dedos, luego de suspender la presión. El suelo se estira al separarse los dedos.
Muy adhesivo	(w)vs	VS	VS	El suelo se adhiere firmemente a ambos dedos, luego de suspender la presión. El suelo se estira marcadamente al separarse los dedos.

Históricamente, la clase *moderadamente adhesivo* era simplemente denominada *adhesivo*.

Fuente: USDA, 1999

8. Plasticidad

La evaluación se realiza formando un delgado rollo de suelo con un contenido de agua en la cual se expresa la plasticidad máxima (ver figura 8).

Figura 9. Prueba de plasticidad

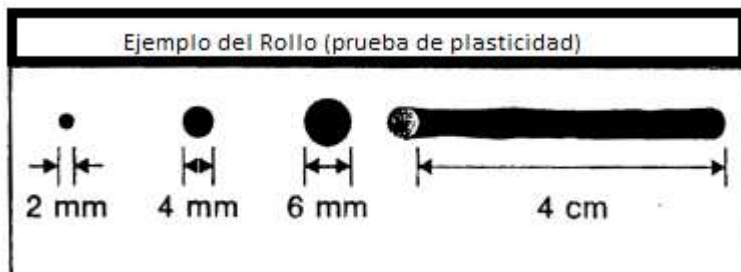


Tabla 35. Criterios de plasticidad en los suelos

Clase de plasticidad	Código			Criterio: haga un rollo de 4 cm de longitud
	Conv.	PDP	NASIS	
No plástico	(w)po	PO	PO	No forma un rollo de 6 mm de diámetro, o si lo forma, éste no puede sostenerse cuando se apoya todo el rollo sobre un extremo.
Ligeramente plástico	(w)ps	SP	SP	Un rollo de 6 mm de diámetro se sostiene a sí mismo; uno de 4 mm, no.
Moderadamente plástico	(w)p	P	MP	Un rollo de 4 mm de diámetro se sostiene a sí mismo; uno de 2 mm, no.
Muy plástico	(w)vp	VP	VP	Un rollo de 2 mm de diámetro se sostiene a sí mismo.

Históricamente, la clase *moderadamente plástico* era denominada simplemente *plástico*.

Fuente: USDA, 1999

9. Procedimientos para determinación de Materia Orgánica

- Tomamos una muestra de suelo (un terrón de aproximadamente 5cm / 2pug).
- Se Aplicó con un gotero un par de gotas de agua oxigenada.
- Se Observó el grado de efervescencia (Burbujeo).

3.5 Calculo de biomasa neta y rendimiento agroclimático¹⁰

El cálculo de biomasa es uno de los indicadores más importantes en el presente estudio, con este cálculo determinamos el crecimiento promedio de la materia económicamente aprovechable en los cultivos de maíz y frijol, dada las condiciones climáticas del municipio de Larreynaga. La metodología empleada es el estudio realizado por FAO, "Zonas Agroecológicas para América del Sur y Central" realizada en 1981, las fórmulas de este cálculo las podemos encontrar en anexos 6.

Se puede definir el cálculo de biomasa como un indicador de los rendimientos teóricos de los cultivos de maíz y frijol en los sectores de Larreynaga en dependencia de las variables climáticas de temperatura, radiación solar, latitud, viento y brillo solar (horas sol). No incluye las pérdidas debido a la falta de recurso hídrico, plagas o enfermedades, resiliencia de los agricultores y ajuste de ciclo de crecimiento del cultivo, luego del cálculo se realiza el cálculo real de los rendimientos con la opción de brindarles pesos¹¹ a las posibles reducciones debido a las siguientes problemáticas:

¹⁰ Los cálculos de Biomasa Bruta y Neta, así como el cálculo del Rendimiento sin impedimentos agroclimáticos han sido automatizados mediante Excel 2010.

¹¹ Los pesos se calculan en porcentaje, es decir cuánto es el porcentaje que se reduce el rendimiento debido a la falta de recurso hídrico, resiliencia del agricultor, plagas o enfermedades y como se ajustan los cultivos al periodo de crecimiento determinado por el balance agrícola.

3.5.1. Ajuste de la longitud de ciclo de desarrollo de los cultivos de maíz y frijol con el periodo de crecimiento (balance hídrico)

Se establece una correspondencia entre el ciclo fenológico de los cultivos y el periodo de crecimiento determinado por el balance hídrico agrícola, esto con el objetivo de determinar el grado de pérdidas de rendimiento en los cultivos (frijol y maíz). Estas pérdidas son consideradas como impedimentos agroclimáticos.

3.5.2. Grado de carencia o exceso de agua durante el periodo de crecimiento

Este factor puede influir en el crecimiento de la planta, y en la formación de la materia económicamente aprovechable (llenado de vaina o mazorca) y en la calidad del producto. El efecto total de la carencia o exceso de agua puede dividirse en dos partes:

- a) Efecto en el crecimiento de toda la planta.
- b) Efecto en la formación de materia económicamente aprovechable (llenado de vaina o mazorca) y en la calidad del producto.

3.5.3. Plagas y enfermedades

Se trata de factores que operan indirectamente, como consecuencia de las condiciones climáticas, y que varían de un cultivo a otro dentro de un mismo periodo de crecimiento. Para evaluar los efectos de las plagas, enfermedades y malas hierbas como impedimentos agroclimáticos conviene distinguir entre los efectos en el rendimiento que se deben a pérdidas del potencial de crecimiento de las plantas y los que se hacen sentir directamente en la formación de la materia económicamente aprovechable y en la calidad del producto.

3.5.4. Dificultades de laboreo, falta de mecanización y buenas prácticas agrícolas (grado de resiliencia por parte del agricultor)

Este apartado trata de las pérdidas de rendimiento por falta de respuesta temprana del productor (resiliencia del agricultor) ante fenómenos naturales extremo, traslado y ensilo de los granos, entre otros .Si bien los impedimentos de este grupo no constituyen una pérdida de biomasa, si se traduce, en la práctica, en una reducción de rendimiento. Por ejemplo, pérdida parcial de cultivos por falta de recolectado antes de una fuerte precipitación.

Estas cuatro variables, denominadas forzantes, se les asigna un peso con respecto a las mermas que provocan en la producción de biomasa económicamente aprovechable, es decir que tanto peso tienen las plagas y enfermedades en los rendimientos de maíz y frijol en el municipio de Larreynaga; esto dependerá de los problemas mencionados por los agricultores en las encuestas que se han realizado en todo el municipio.

Estas pérdidas las hemos reflejado en porcentaje de déficit de rendimiento, esto significa que si tenemos un rendimiento promedio de frijol de 22 qq/mz pero este sector se presentan sequias cada 2 años (25 % de perdidas) y si presenta mucha aparición de plagas y enfermedades (10 % de perdidas) su rendimiento final será menos de los 22 kg/mz, esto es realizado con el objetivo de representar de una manera más real los rendimientos promedios de los cultivos de maíz y frijol en el municipio de Larreynaga. En la tabal 37, se presentan algunos impedimentos que reducen los rendimientos de laso cultivos.

Tabla 37. Impedimentos que reducen los rendimientos de los cultivos

Impedimentos	Ocurrencia	Porcentaje
Ciclo de desarrollo de los cultivos	Primaria	25
Grado de carencia o exceso de agua	Primaria	25
Plagas, enfermedades y malas hierbas	Secundaria	10
Dificultades de laboreo, falta de mecanización y buenas prácticas agrícolas	Secundaria	10

Fuente: FAO 1981

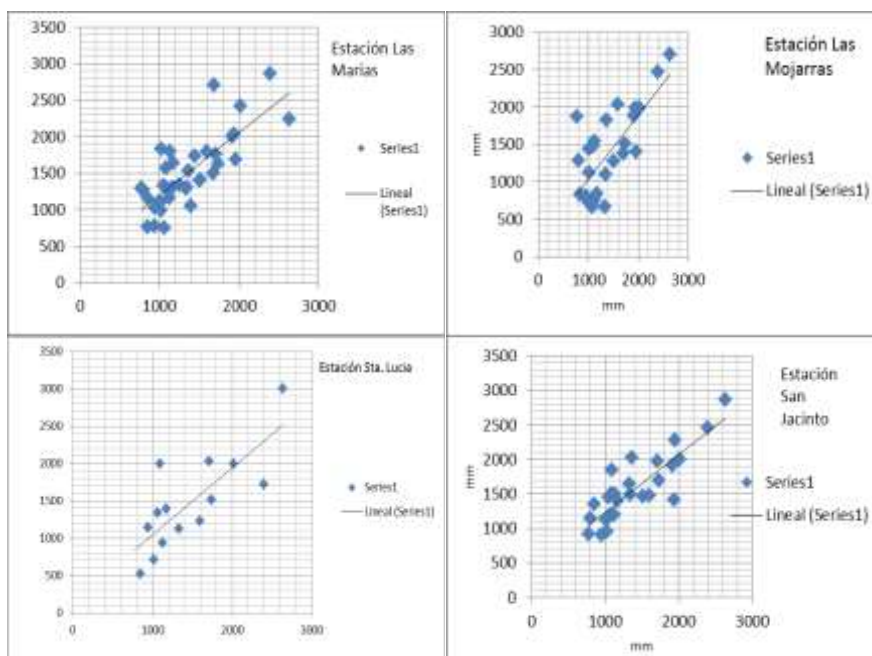
CAPITULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.1. Gestión de datos climáticos

Este ha sido el primer análisis y el más importante a realizar, puesto que con datos no consistentes se tendrían resultados incorrectos en este estudio, podemos observar en la figura 9 (las tablas de test de carrera se muestra en el anexo 1) como las correlaciones entre las estaciones meteorológicas con la estación base no presenta grandes desviaciones, es decir los datos de la variable precipitación (en este caso) son consistentes, es decir son representativos estadísticamente, mismo resultado nos arroja el método de test de carrera; esto nos lleva a tener como primer resultado que los datos de las series climáticas son representativos y consistentes estadísticamente y por tal motivo le damos de alta para los distintos cálculos que se realizaran a lo largo del estudio.

Cabe mencionar que este análisis se realizó para todas las variables meteorológicas inmersas en este estudio, como son: precipitación, temperatura media, radiación solar y brillo solar.

Figura 10. Análisis de consistencia de la precipitación mensual, método de doble masa

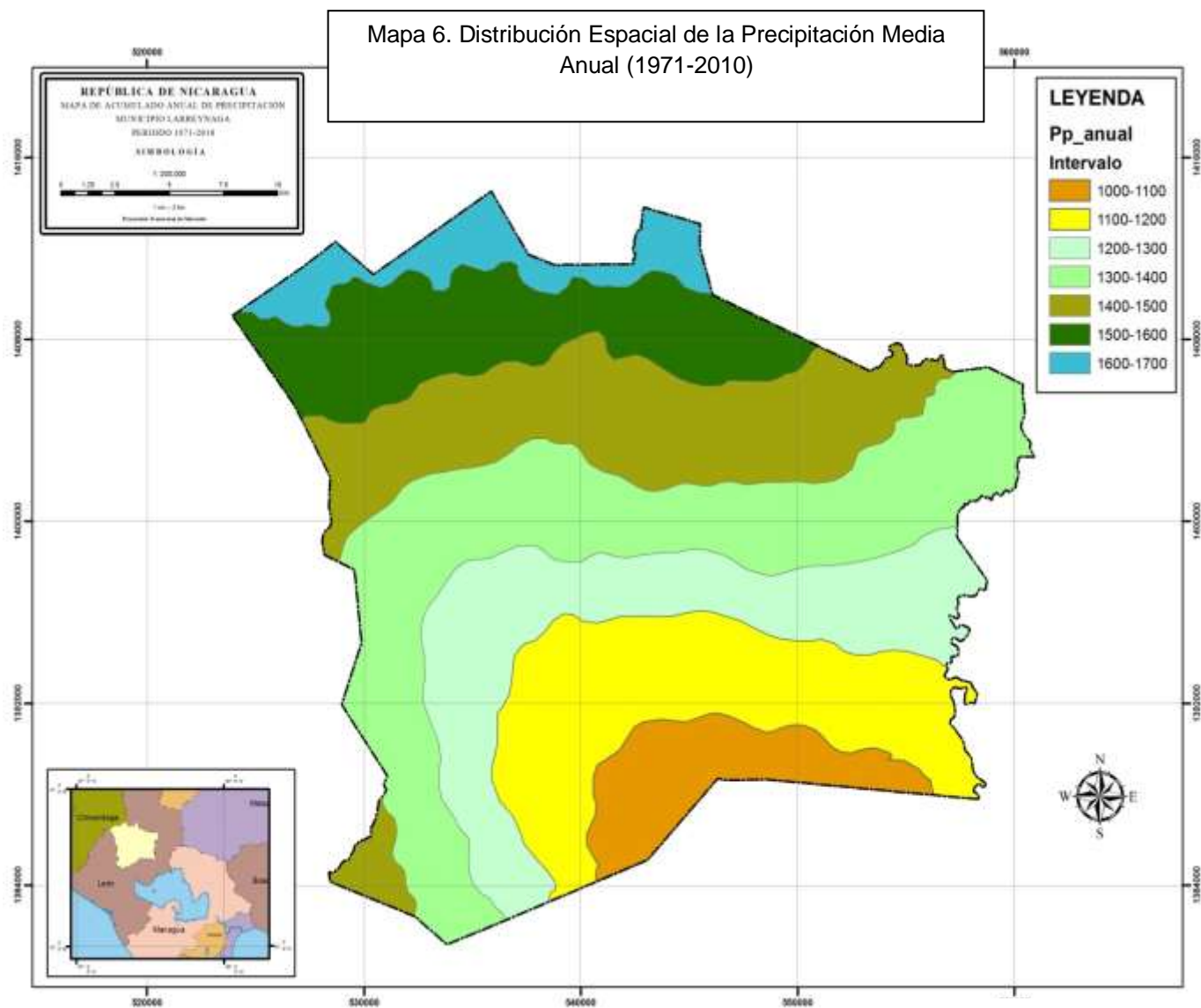


Fuente: Elaboración propia.

4.2. Inventario Climático

4.2.1. Distribución Anual de Precipitación

En base a los datos de precipitación registrados en un período de 39 años (1971-2010) con las series homogenizadas, se obtiene que el acumulado anual promedio de precipitación para el municipio de Larreynaga es 1, 501 mm, teniendo una particularidad en la zona, la cual presenta una disminución de la precipitación de Noroeste a Sureste (mapa 6), es decir que los mayores acumulados de precipitación se dan en el sector de Mina El Limón y los menores se generan en el sector de la estación Malpaisillo.

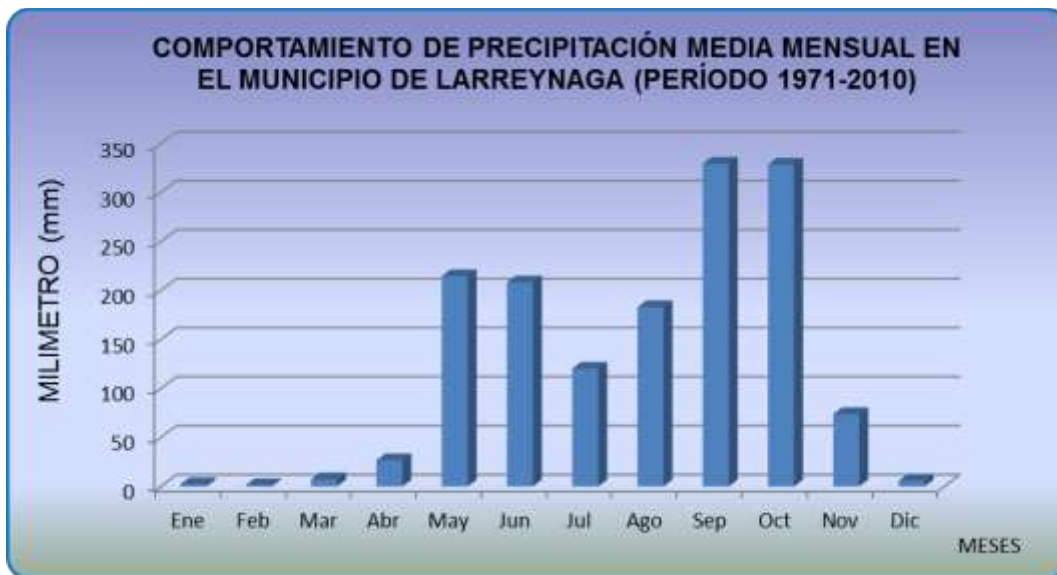


4.2.2. Distribución Mensual de Precipitación

En la distribución de los acumulados mensuales de precipitación, se observa que un 92% de las precipitaciones se distribuyen en los meses de Mayo a Octubre y el restante 8% se distribuye en los meses de Noviembre a Abril. De este análisis se deriva que en el municipio de Larreynaga existen dos periodos estacionales, un periodo lluvioso entre los meses de Mayo a Octubre y un período seco en los meses de Noviembre a Abril.

Durante el período lluvioso los mayores acumulados mensuales se presentan en los meses de septiembre con 329 mm y octubre con 328 mm. Teniendo los menores acumulados mensuales de precipitación en los meses de julio con 120 mm y agosto 183 mm.

Gráfica 1. Comportamiento de Acumulados de Precipitación Media Mensual (1971-2010)



Fuente: Elaboración propia

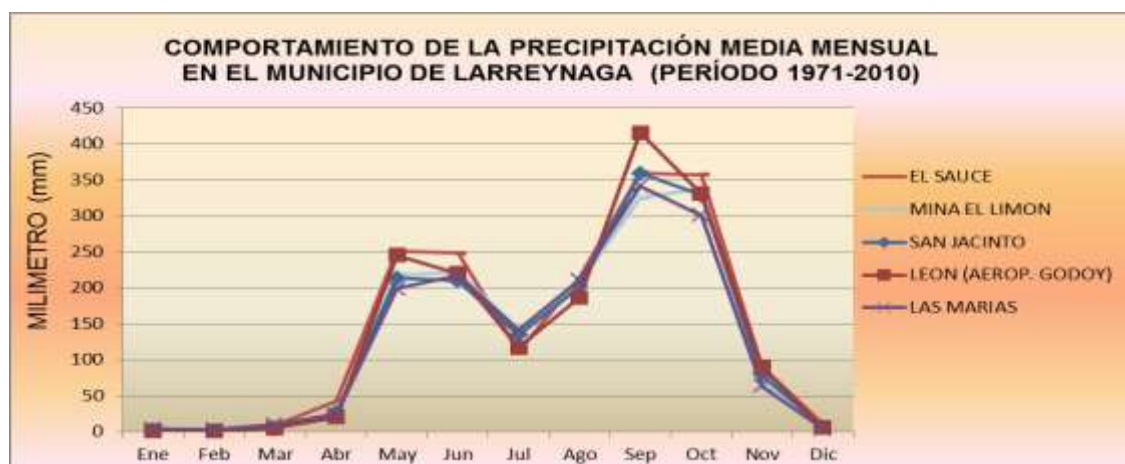
La diferencia de acumulados de precipitación entre el primer y segundo subperíodo lluvioso es por la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZICT), debido que en el mes de septiembre se observa en su posición latitudinal más alta, llegando a alcanzar posiciones promedio hasta de 10.5° de latitud Norte, así como una mayor influencia de las ondas tropicales provenientes del océano Atlántico.

La disminución de los acumulados en los meses de julio y agosto es generada por la migración de la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical) hacia latitudes más al sur del país y al fortalecimiento del anticlón continental, este fenómeno de disminución de precipitación en nuestro país es llamado “canicula” o “veranillo” (disminución marcada de la precipitación con menos días con precipitación en los meses de julio y agosto, generalmente entre el 15 de julio y 15 de agosto).

A partir del mes de noviembre inicia el período seco donde se presentan precipitaciones con valores que van de 74 mm en noviembre, a 1mm en el mes de febrero.

En la zona de estudio las estaciones que superan al promedio anual de precipitación del municipio (periodo 1971-2010) de 1, 501 mm son: la estación Mina el Limón con 1567 mm, ubicada dentro del municipio de Larreynaga en la parte Noreste, en la localidad Mina El Limón. Las Marías con 1520 mm, San Jacinto con 1568 mm, León (Aerop.Godoy) con 1640 mm localizados en la parte suroeste de la zona de estudio y en la parte norte en la localidad del Sauce con 1702 mm, todas estaciones se ubican en las proximidades de la zona de estudio. (Ver Gráfica 2)

Gráfica 2. Comportamiento de las Precipitaciones Media Anual por Estación



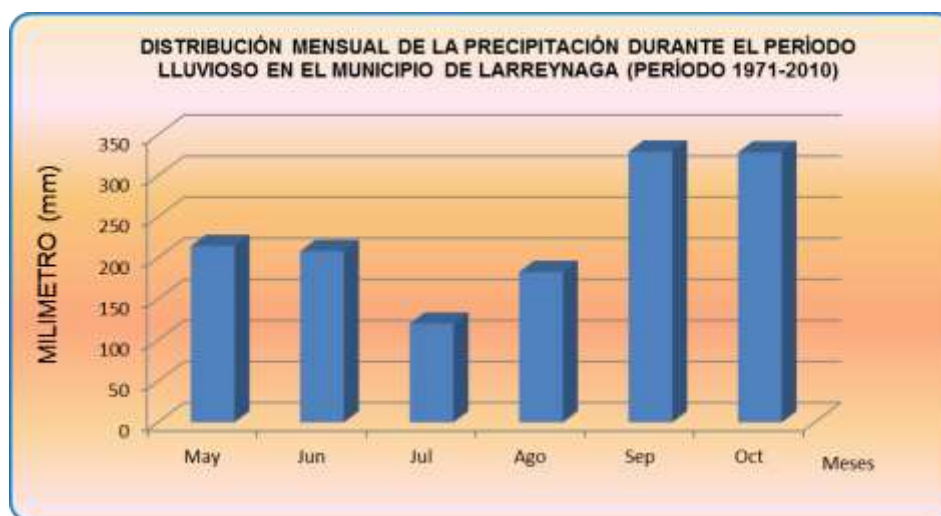
Fuente: Elaboración propia

Los acumulados anuales de precipitación en el entorno del municipio de Larreynaga, presenta los menores acumulados al Este del municipio, registrado en la estación Los Zarzales 1282 mm y los mayores acumulados en la parte norte de la región en la estación El Sauce de 1702 mm.

4.2.3. Periodo lluvioso

La distribución de la precipitación en el período lluvioso (Mayo-Octubre), el cual posee el 92% del promedio anual (1, 384 mm) se distribuye de la siguiente manera: el 1er subperíodo lluvioso (Mayo-Julio) cuenta aproximadamente con 36% del total del periodo lluvioso, lo que equivale a 543 mm y el resto que sería el 56% se distribuye en el 2do subperíodo lluvioso (Agosto-Octubre), lo que equivale a 841 mm, con respecto al total del periodo lluvioso. (Ver Gráfica 3)

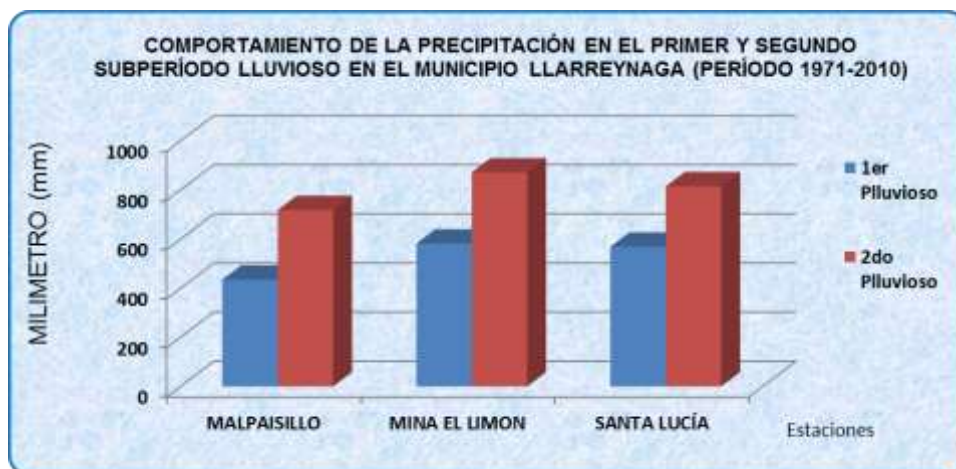
Gráfica 3. Distribución de Precipitación Durante el Período Lluvioso (1971-2010)



Fuente: Elaboración propia

Al realizar una comparación del comportamiento de las precipitaciones durante el 1er Sub Período y 2do Sub Período lluvioso en el municipio de Larreynaga con los registros de 1971-2010 obtuvimos como resultados la siguiente distribución por estaciones:

Fuente: Elaboración propia



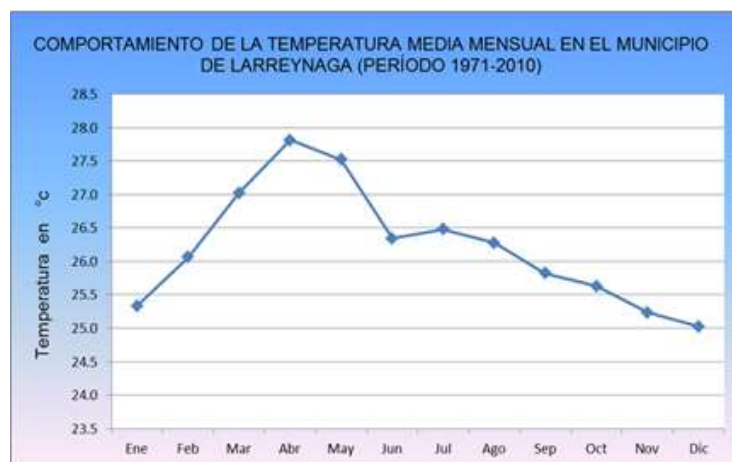
Gráfica 4. Comportamiento 1er y 2do Sub-Período Lluvioso (1971-2010)

En el 1er Subperíodo (Mayo-Julio) la estación Mina El Limón presenta el mayor acumulado con 581 mm y el menor acumulado lo presenta la estación Malpaisillo con 435 mm. En el 2do Subperíodo lluvioso (Agosto-October) presenta el mayor acumulado la estación Mina El Limón con 874 mm y el menor acumulado la estación de Malpaisillo con 718 mm. Ver grafica no.4.

4.2.4. Comportamiento de la Temperatura

En base a los datos de temperatura registrados en un período de 39 años (1971-2010) con las serie homogenizada se obtiene que el promedio anual de la temperatura media para el municipio de Larreynaga es 26.2 °C. Teniendo los máximos valores entre los meses de abril y mayo con temperaturas que oscilan entre 27.5°C y 27.8°C, generándose con el final del

Figura 11. Comportamiento de las temperaturas



Fuente: Elaboración propia

período seco y el inicio del período lluvioso. En el período seco se registran valores mínimos de 25°C en el mes de Diciembre.

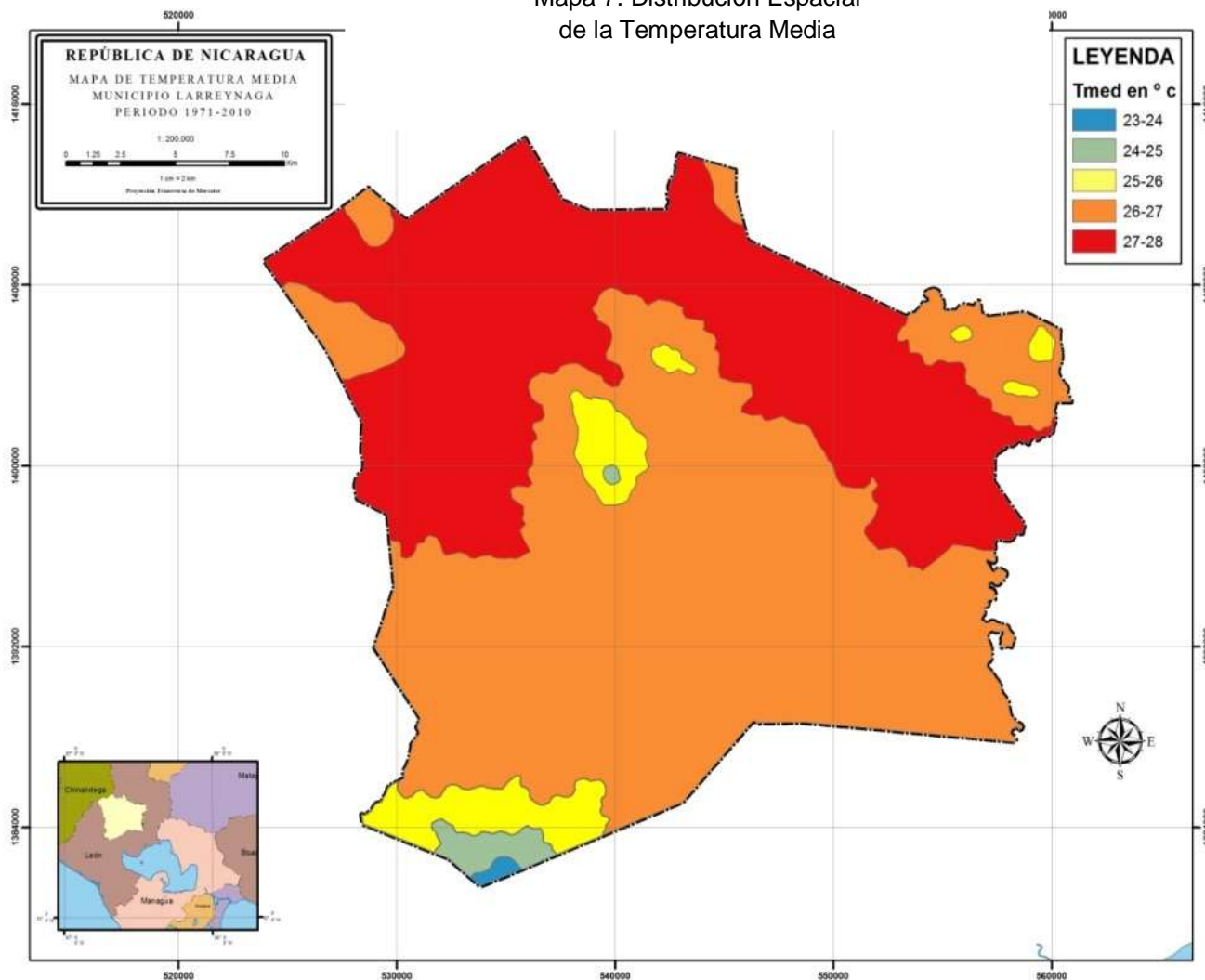
En el período lluvioso a partir del mes de Junio se observa una disminución, tendencia que paulatinamente se mantienen hasta diciembre. (Ver Gráfica 5).

En el municipio de Larreynaga en las zonas de menor elevación se presentan los valores altos y en las partes de mayor elevación los valores bajos. La zona suroeste del municipio es donde se tienen los valores más bajos de temperatura media los cuales oscilan entre 23° C y 26°C , de igual manera se presentan núcleos en la zona central del municipio, estos ocupan el 6.4% del territorio en el municipio de Larreynaga. El 93.6 % restante del territorio presentan valores más altos de temperatura media que oscilan 26.1°C y 28°C. (Ver mapa 7)

Para el cultivo de cultivo del Maíz (NB-S) las temperaturas medias que presenta el municipio de Larreynaga para los meses de cultivo en secano son de buenas a optimas conforme se desarrolla el período lluvioso, en el mapa 7 podemos observar donde se presentan las temperaturas óptimas para el cultivo dándose en la parte Sur-Oeste del municipio, teniendo en cuenta que se trabajó con una serie de 39 años (promedios).

Para el cultivo del Frijol, variedad Inta-Rojo se tiene que la temperatura en el municipio de estudio es óptima para lograr su desarrollo en sus diferentes etapas de crecimiento (ver apartado de Ficha técnica de los cultivos).

Mapa 7. Distribución Espacial de la Temperatura Media



Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Clasificación Climática según Köppen Modificado

Luego determinar los datos promedios de temperatura media y de precipitación y con la ayuda de los criterios de la metodología de clasificación climática Köppen modificado, determinamos que el clima predominante en todas las estaciones de la región III, es Clima Cálido Sub-Húmedo con periodo canicular y se simboliza como Aw2, teniendo valores mayores 55.3 mm en la relación de la precipitación sobre la Temperatura media (ver tabla 38), que se caracteriza por presentar una estación seca que dura 6 meses.

Tabla 38. Clasificación climática Köppen modificado en el Municipio de Larreynaga (fuente: Elaboración propia)

Clasificación climática del municipio de Larreynaga (periodo 1971-2010) según Köppen Modificado				
Estación	Tmed Anual	Precip. Total	P/T	Tipo de Clima
León	27.4	1702	62.1	Aw2
El Sauce	26.1	1640	62.8	Aw2

4.2.6. Amenaza por sequía meteorológica

Con la información meteorológica y con la ayuda de la herramienta “SPI_SL_6”, se obtuvo que el 50% del área del municipio presenta una amenaza media a sequía meteorológica (se considera la presencia de la sequía una vez de cada tres a cuatro años, la cual puede tener cualquiera de los niveles de intensidad), el área del 10% presenta amenaza por sequía meteorológica baja (se considera la presencia de la sequía una vez de cada cuatro a siete años, la cual puede tener cualquiera de los niveles de intensidad) y el 40% restante del área presenta amenaza alta, se considera la presencia de la sequía al menos una vez cada dos o tres años, la cual puede tener cualquiera de los niveles de intensidad (Ver tabla 39).

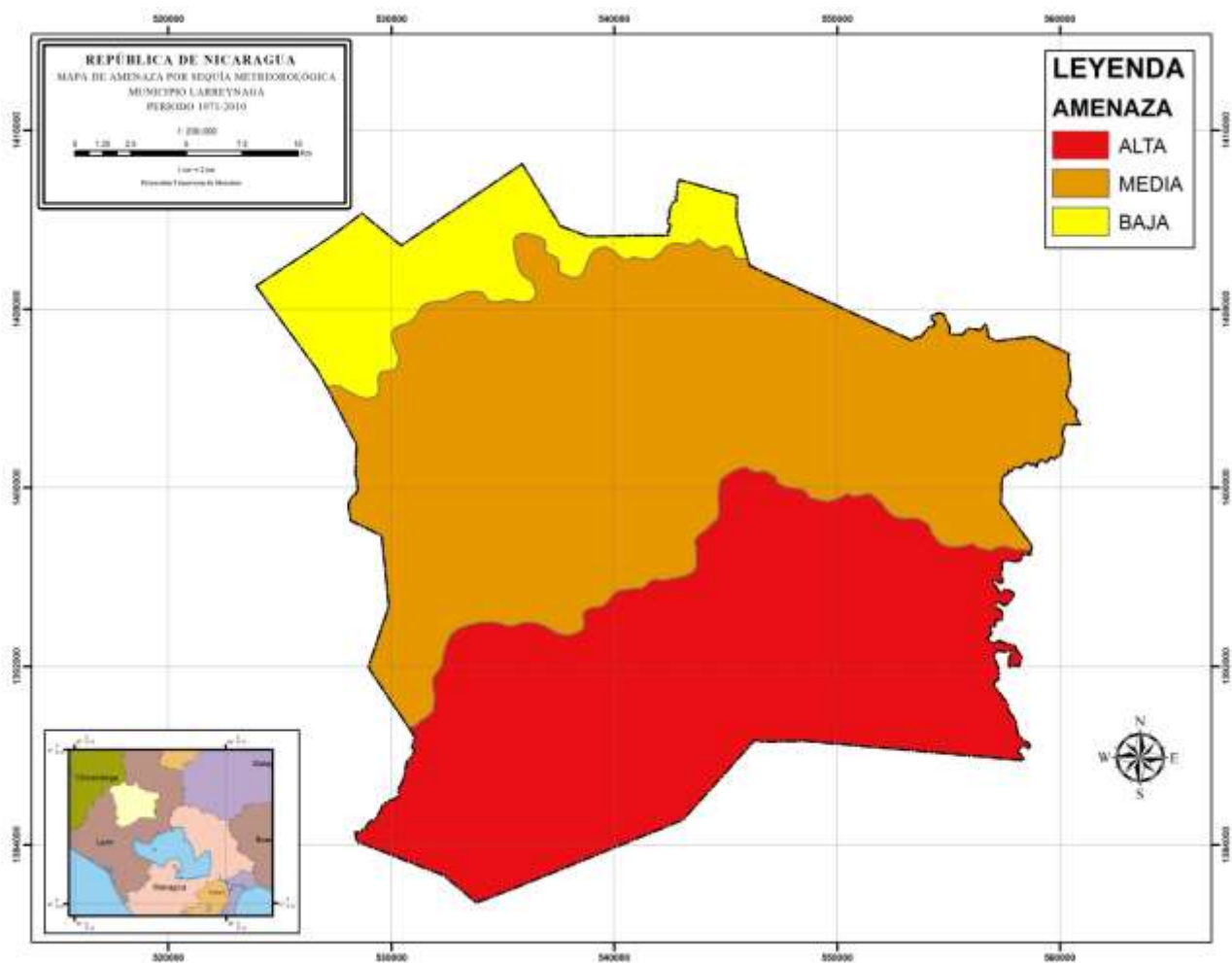
Tabla 39. Distribución de los niveles de amenaza por sequía en el municipio de la Larreynaga

Amenaza	Área (km2)	%
Baja	74	10
Media	375	50
Alta	296	40

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar en el mapa 8 que la parte sur del municipio de Larreynaga presenta amenaza alta por sequía meteorológica, esto quiere decir que de cada dos años se presente déficit y una mala distribución de los acumulados de precipitación (déficits mayores a 30 %). La mayor parte central del municipio presenta una amenaza media por sequía meteorológica, que significa que se considera la presencia de la sequía (con niveles de altos a medios en anomalía de precipitación) y la mala distribución de las mismas; la parte norte del municipio presenta amenaza baja por sequía meteorológica, se considera la presencia de sequía entre 3 a 5 años, la cual puede tener niveles de intensidad media o baja.

Mapa 8. Amenaza por Sequía Meteorológica Municipio de Larreynaga



A pesar que en la parte sur-oeste se presentan temperaturas óptimas en el municipio para los cultivos, se tiene un mayor riesgo de afectación por sequía, en el mapa 6 observamos los menores acumulados de precipitación. Con registros para el estudio de una serie de 39 años (1971-2010).

4.3. Período de Crecimientos de los cultivos

Se utilizaron los datos climáticos de precipitación y de evapotranspiración, así como la variedad de los cultivos para determinar los requerimientos de los mismos. Como resultado tenemos que el municipio de Larreynaga posee dos periodos de crecimientos, el primero en los meses de mayo a julio y el segundo en los meses de Septiembre a Noviembre.

Esto se generó con la prueba de varios escenarios en el cual se utilizaron los resultados obtenidos en el cálculo de la evapotranspiración de referencia, la evapotranspiración de los cultivos y el balance hídrico de los suelos(ver datos tabla 40 y 41).

El cálculo del inicio del periodo de siembra se realiza mediante la distribución decenal (acumulado de cada 10 días) de las precipitaciones y la evapotranspiración, el inicio lo marca el momento donde la precipitación efectiva es mayor que la evapotranspiración por segunda decena consecutiva. No se realiza en la primera decena debido a probables retrasos o señales de falso inicio de las lluvias (es decir una precipitación aislada provocada por una celda convectiva) que no obedece a una continuidad de las precipitaciones.

Tabla 40. Balance hídrico del suelo estación El Sauce (fuente propia)

BALANCE HÍDRICO DEL SUELO
HOJA DE CALCULO PRELIMINAR
SÓLO COLOCAR DATOS EN (Pt, Etc., Etc.)

Ax = 100

Mes	Decena	Pt	Pe	Etc	Pe-Etc	Hs	Dif/Ex	Etc(e)	Etc.(e)	Idh
Enero	I	3.4	2.4	-	-	0.0				
	II	0.3	0.2	-	-	0.0	-46.0	0.2	1.0	0.0
	III	0.4	0.3	-	-	0.0	-45.9	0.3	1.0	0.0
Febrero	I	0.5	0.3	-	-	0.0	-50.6	0.3	1.0	0.0
	II	0.1	0.1	-	-	0.0	-50.9	0.1	1.0	0.0
	III	0.6	0.4	-	-	0.0	-50.6	0.4	1.0	0.0
Marzo	I	2.3	1.6	-	-	0.0	-55.9	1.6	1.0	0.0
	II	4.1	2.8	-	-	0.0	-54.6	2.8	1.0	0.0
	III	5.8	4.0	-	-	0.0	-53.4	4.0	0.9	0.0
Abril	I	6.0	4.2	-	-	0.0	-57.7	4.2	0.9	0.0
	II	18.7	13.1	-	-	0.0	-48.8	13.1	0.8	0.0
	III	32.1	22.5	-	-	0.0	-39.4	22.5	0.6	0.0
Mayo	I	41.9	29.4	-	-	0.0	-28.8	29.4	0.5	0.0
	II	76.1	53.3	-	-	0.0	-4.9	53.3	0.1	0.0
	III	149.2	104.4	29.1	75.3	46.2	0.0	58.2	0.0	0.5
Junio	I	125.0	87.5	35.5	52.0	75.5	0.0	58.2	0.0	0.8
	II	92.4	64.7	48.3	16.4	82.0	0.0	58.2	0.0	0.8
	III	73.5	51.5	61.1	-9.7	75.2	0.0	58.2	0.0	0.8
Julio	I	43.9	30.7	58.9	-28.2	49.9	0.0	56.1	0.0	0.5
	II	32.5	22.7	58.9	-36.2	16.5	0.0	56.1	0.0	0.2
	III	46.2	32.3	58.9	-26.6	0.0	-7.3	48.8	0.1	0.0
Agosto	I	44.2	30.9	63.1	-32.2	0.0	-29.2	30.9	0.5	0.0
	II	32.5	22.7	-	-	0.0	-37.4	22.7	0.6	0.0
	III	100.4	70.3	18.0	52.3	52.3	0.0	18.0	0.0	0.5
Septiembre	I	101.9	71.3	17.0	54.3	100.0	6.6	17.0	0.0	1.0
	II	137.8	96.5	23.8	72.6	100.0	72.6	23.8	0.0	1.0
	III	164.8	115.4	65.0	50.4	100.0	50.4	65.0	0.0	1.0
Octubre	I	155.8	109.1	54.5	54.6	100.0	54.6	54.5	0.0	1.0
	II	129.0	90.3	54.5	35.8	100.0	35.8	54.5	0.0	1.0
	III	84.6	59.2	54.5	4.7	100.0	4.7	54.5	0.0	1.0
Noviembre	I	57.4	40.2	52.6	-12.4	87.6	0.0	52.6	0.0	0.9
	II	31.8	22.3	52.6	-30.3	57.3	0.0	52.6	0.0	0.6
	III	12.4	8.6	48.0	-39.3	18.0	0.0	48.0	0.0	0.2
Diciembre	I	1.6	1.1	-	-	0.0	-25.5	19.1	0.6	0.0
	II	1.4	1.0	-	-	0.0	-43.6	1.0	1.0	0.0
	III	6.3	4.4	-	-	0.0	-40.1	4.4	0.9	0.0

Para el calculo de la precipitación efectiva se empleo el método modificado de Rojas (1983), Utilizado por Martelo (1997), el cual se resta el valor de la altura de la lamina de lluvia reportada por cada estación pluviometrica, el valor del coeficiente de pérdidas de lluvia (Tabla Kp).

Pendiente	Permeables (Livianos)	Semi-Permeables (Medio)	Impermeables (Pesados)
menor a 8%	0.1	0.15	0.2
8%-20%	0.2	0.3	0.4
Mayor a 20%	0.4	0.5	0.6

FRIJOL

MAÍZ

Pt: Precipitación Total (mm) Dif/Ex: Deficit ó Exceso de Humedad en el Suelo (mm)
 Pe: Precipitación Efectiva (mm) Etc(e): Necesidades Hídrica del Cultivo Efectiva (mm)
 Etc.: Necesidad Hídrica del Cultivo (mm) Etc(e): Necesidades Hídricas del Cultivo Faltante (%)
 Hs: Humedad del Suelo (mm) Idh: Índice de Disponibilidad Hídrica (%)

Luego de realizar los cálculos de distintas configuraciones de inicios de siembra y cultivo (maíz y frijol) se obtuvo como mejor opción las fechas de siembras siguientes:

1. Para el primer periodo de siembra se tiene como fecha la tercera decena de mayo para el cultivo del frijol con el fin de entrar en fecha de cosecha con menor humedad en la zona. El cultivo de maíz no se recomienda cultivar en esta fecha, de hacerlo podría presentar estrés hídrico a partir de la fase de desarrollo del mismo, perdiendo así casi el 70 por ciento del rendimiento o la cosecha entera.

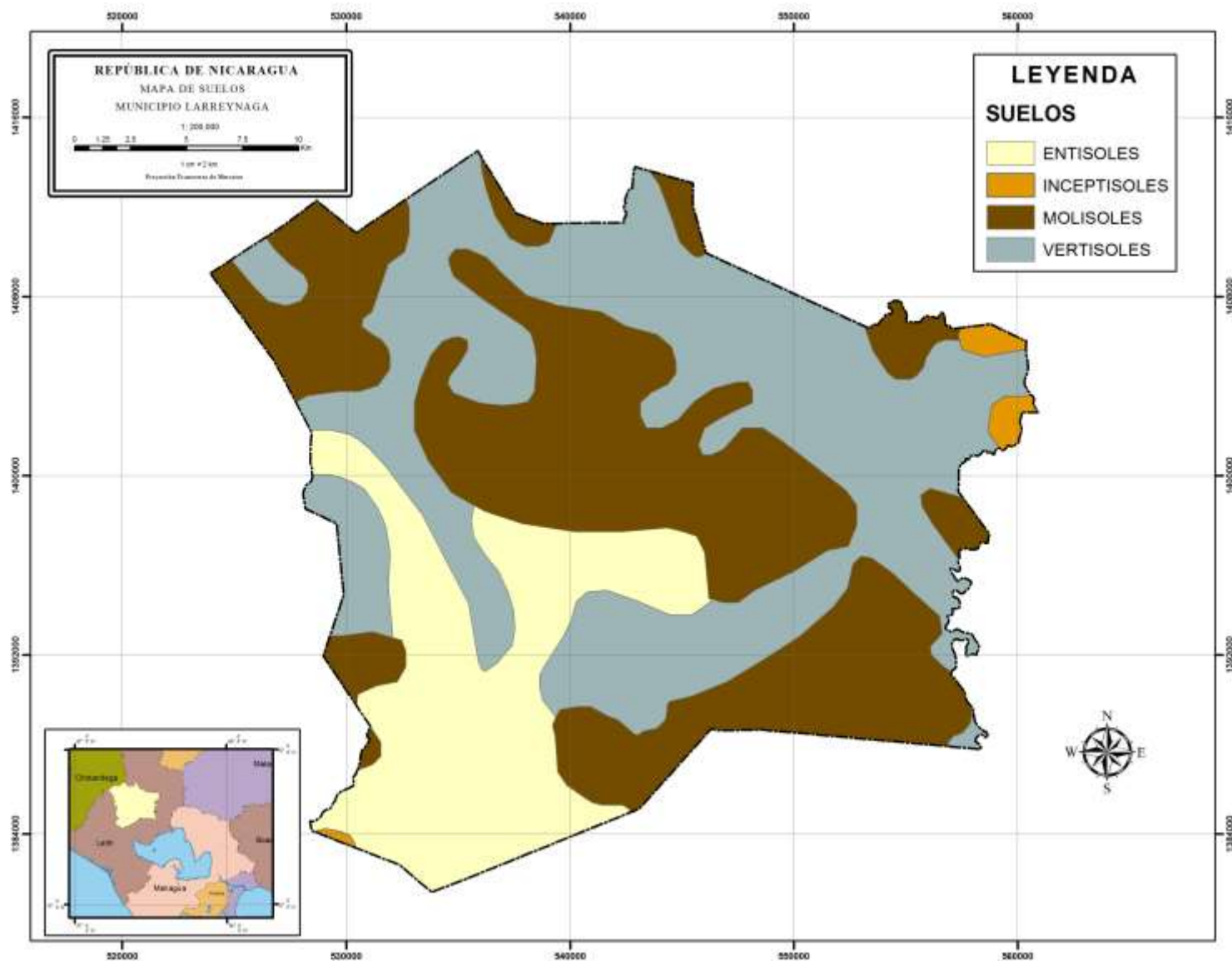
2. Para el segundo periodo de siembra la fecha de inicio para el cultivo de Maíz es la tercera decena de agosto teniendo en cuenta la variedad de semilla a utilizar en la zona y las necesidades hídricas, especialmente en la fase de desarrollo del cultivo. Para seleccionar estas fechas se realizaron varios escenarios en los cuales se utilizó el balance hídrico de los suelos para comparar y conocer el más recomendable. Debido a que los acumulados de precipitación que hay en este segundo período no se recomienda que se siembre el cultivo de frijol, debido a que el exceso de humedad del suelo dañaría en su totalidad dicho cultivo.

En la actualidad los inicios de siembra en el municipio se establecen de manera empírica (por ejemplo, si llueve en los primeros días de mes de enero se cree que el invierno entrara en la primera decena de mayo), para la mayoría de estos pequeños productores, por medio de sus experiencias adquirida con el desempeño de labores y con la experiencia de sus familiares (abuelos), ya que la mayoría de estos productores han sido poco capacitados o no han sido capacitados por diferentes inconvenientes, como: falta de información de los días a realizar el taller de capacitación, por un difícil acceso a sus tierras, entre otras.

4.4. Inventario de suelos

Los resultados del estudio de suelos, reflejan que el municipio de Larreynaga contiene 4 órdenes de suelos los cuales son: Entisoles, Vertisoles, Inceptisoles y Molisoles; se puede observar su distribución espacial en el mapa 8.

Mapa 9. Distribución de los Ordenes de los Suelos Municipio de Larreynaga



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mayor parte de los suelos en el municipio pertenecen al orden de los Vertisoles (suelo no apto para los cultivos de maíz y frijol), seguido de los molisoles los cuales son suelos aptos para los cultivos según la ficha de requerimientos edafoclimáticos. A continuación presentaremos la tabla 38 la cual muestra la distribución de los órdenes de los suelos por área (Km²):

Tabla 42. Distribución de Ordenes de los Suelos por Área (Km²)

Órdenes	Área (km ²)	%
Entisoles	149.3	20
Inceptisoles	7.1	1
Molisoles	286.9	39
Vertisoles	301.7	40

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el municipio posee un predominio de los suelos de orden Vertisoles 40%, los cuales no son los más adecuados para los cultivos ya que presentan mucha variación al sufrir cambios de humedad debido a la cantidad de arcilla que poseen. Teniendo como suelos óptimos en el municipio un 39% (286.9 Km²) del orden Molisoles, estos suelos presentan un alto contenido de materia orgánica y de minerales. Se observa que al sobreponer el mapa de órdenes de suelo con el de amenaza por sequía, la parte sur del municipio (con suelo de orden Molisol) presenta un alto riesgo de amenaza por sequía meteorología, aumentando el riesgo de pérdidas en los cultivos debido a mermas de rendimiento en los cultivos debido al déficit hídrico, esto se debe de tomar muy en cuenta a la hora de querer cultivar en seco en este sector del municipio.

4.5. Producción de Biomasa Bruta y Neta

Si tomamos en cuenta solamente los requerimientos climáticos para la producción de biomasa (radiación solar, precipitación y temperatura) que necesita la variedad de Maíz NB-S y frijol INTA-rojo, notamos que en el municipio los cultivos presentan una adaptabilidad de Buena a Optima, esto quiere decir que las variables climáticas (acumulados promedios mensuales)

no generan un problema en las distintas fases fenológicas de estos granos básico. Sin embargo al realizar el análisis de la amenaza de sequía (metodología Índice Estandarizado de la Precipitación), es decir, con que periodicidad se presentan acumulados anómalos de precipitación (déficit de lluvia con respecto a lo normal) en el municipio de Larreynaga, y a su vez, una mala distribución de las mismas; encontramos que en los sectores noreste y central del municipio cada dos o tres años habrán lluvias anómalas que tendrán como consecuencia una entrada tardía de las precipitaciones, así como una mala distribución, que se traduce en lluvias muy intensas y zonales, pudiendo llover en un día lo que normalmente llueve en una semana, siendo este comportamiento traducido a los cultivos en reducción de rendimientos o daños totales en la biomasa de los mismos (granos).

Una vez evaluado este comportamiento de las precipitaciones e introduciendo otras variables, como la falta de prácticas agrícolas para el control de plagas y enfermedades, la falta de mecanización agrícola, la falta de fertilizantes, la falta de capacitación agrícola que tienen los agricultores y la manera tradicional de sembrar sus cultivos tenemos como resultado que para el cultivo del frijol con un ciclo normal de crecimiento, para la variedad de semilla a utilizar de 80 días para condiciones de seco y para siembra de primera se ha determinado que el rendimiento (By) es de 9.9 qq/mz y para la siembra de postrera su rendimiento es 7.1 qq/mz.

Para el cultivo del maíz en condiciones de seco, la variedad a utilizar de 100 días para este cultivo es la siembra de primera que presenta un rendimiento (By) de 16.5 qq/mz y para la siembra de postrera con un ciclo normal de crecimiento de 100 días es de 23.4 qq/mz (ver en anexo 6). Estos resultados se calcularon en base de datos Excel.

Tabla 43. Rendimientos de los cultivos de maíz y frijol

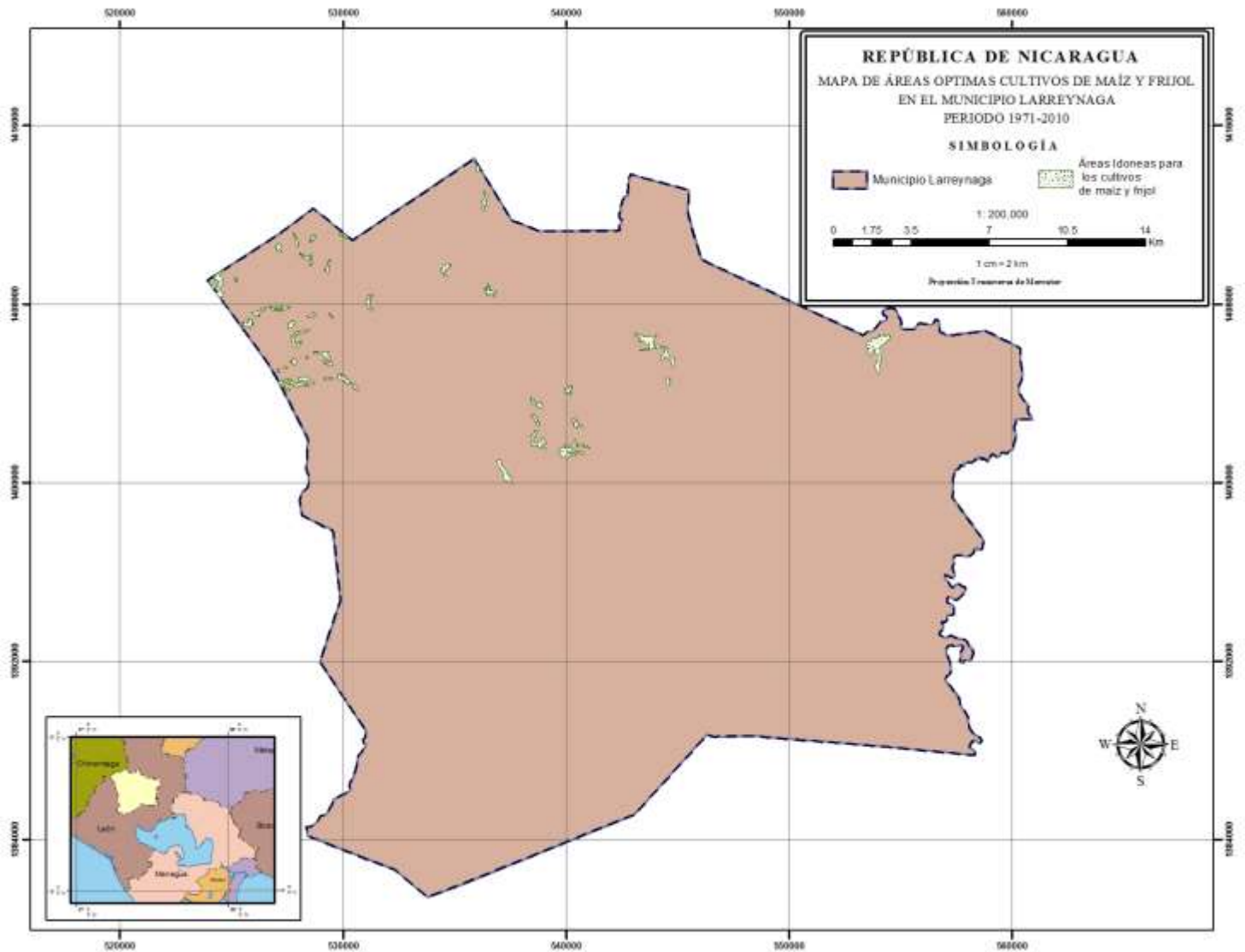
RENDIMIENTO POTENCIAL MUNICIPIO LARREYNAGA			
	CULTIVO	PERIODO DE CRECIMIENTO (DIAS)	RENDIMIENTO POTENCIAL (q/m) CON IMPEDIMENTOS
Secano	PRIMERA		
	MAIZ	80	16.5
	FRIJOL		9.9
	SEGUNDA		
	MAIZ	100	23.4
	FRIJOL		7.1

Fuente: Elaboración propia

4.6. Idoneidad agroclimática para los cultivos de Maíz y Frijol en el municipio de Larreynaga departamento de León

Los resultados de la evaluación de idoneidad de suelo para los cultivos de maíz y frijol en período de secano en el municipio de Larreynaga se presentan en la mapa 9:

Mapa 9. Áreas idóneas para el cultivo Maíz y Frijol en el Municipio de Larreynaga



En la planicie se encuentran suelos de textura franco arcillosa, de topografía plana alternado con suelos de textura pesada, arcillosos de drenaje imperfecto a mal drenados conocidos como Vertisoles; esta planicie se separa en dos zonas por la formación de lomeríos, tomando los nombres de la población que albergan: La Planicie de Malpaisillo, en el sector Oeste y la planicie de Larreynaga en el sector Este; en ellas se identifica a los llanos de La Palmera y Sinecapa, respectivamente.

El sector de Malpaisillo se presenta las mayores amenazas por sequía y los menores acumulados de precipitación del municipio, así mismo encontramos pendientes muy suaves (>10 %) en todo el sector.

Los suelos de la planicie de Malpaisillo, presentan una canícula muy prolongada, más de 30 días; por lo que de sembrar en esta zona en los meses de julio se traducirá en pérdidas importantes de rendimientos o pérdida total de biomasa debido a la falta de precipitación. Los suelos de la planicie de Larreynaga presentan una topografía suave y se encuentran fuertemente erosionados por el uso intensivo, sin prácticas de manejo y conservación de suelos.

En la cordillera de los Maribios (ubicada en el sector suroeste del municipio de Larreynaga), los suelos son frágiles, superficiales, pedregosos, erosionado por la deforestación, su uso potencial es para la conservación de recursos naturales, en definitiva los cultivos estudiados no tendrían oportunidad en este sector.

En los llanos los suelos son arcillosos pesados de drenaje imperfecto, bueno para la agricultura de riego o pasto; son buenos también para producción forestal (leña).

En los lomeríos los suelos son muy superficiales y pedregosos con potencial para la producción forestal, tiene de 30 a 50% de pendiente con pequeñas inclusiones de suelos con pendiente menores de 30%, lo que son buenos para cultivos anuales de secano con manejo agro-forestal o agro-silvopastoril.

El área total idónea para la siembra de los cultivos de maíz y frijol en el municipio de Larreynaga es de 496 hectáreas, representando el 0.7 por ciento del área total del municipio, estas se ubican en la región norte y central del municipio. Los indicadores que se han tomado para los resultados anteriores son el tipo de suelo en la cual se encuentran en el Orden de los Molisoles, la amenaza por sequía meteorológica en el municipio de Larreynaga la cual tiene

un nivel para esas áreas de media y baja, el comportamiento de las precipitaciones con los acumulados necesarios para esas áreas y teniendo muy presente los requerimientos de los cultivos.

La metodología empleada fue sobre poner en capas los mapas de orden de suelo, precipitación, temperatura media, uso actual de suelo, pendiente y amenaza por sequía meteorológica como primer instancia, el análisis fue encaminado en determinar los sectores donde los requerimientos edafoclimáticos de los cultivos se cumplieran, a esto se le añadió la información de balance hídrico y los rendimientos determinados por biomasa y se procedió a determinar por pesos los lugares donde era factible cultivar.

Una de las limitaciones presentes en el territorio es la orografía, en el municipio la mayor frecuencia de pendientes existente es entre el rango de 5 a 10 por ciento (ver mapa de pendientes en anexos 7) y el uso de suelos muy restringidos en el municipio, las áreas para cultivos agrícolas disminuyeron. Como segunda mayor limitante la amenaza por sequía, la tercera parte del municipio presenta alta amenaza por sequía meteorológica este factor climático disminuye aún más las áreas de siembra optima y por último los resultados de biomasa encontrados en el municipio.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

1. El municipio de Larreynaga, presenta Clima Cálido Sub-Húmedo con un periodo canicular, con dos periodos climáticos, un periodo seco entre noviembre y abril, y un periodo lluvioso entre mayo y octubre. El periodo lluvioso se subdivide en dos subperíodos, el primer subperíodo lluvioso entre los meses de mayo a julio y el segundo subperíodo lluvioso entre los meses de agosto a octubre. Se ha identificado que el segundo subperíodo lluvioso presenta mayores acumulados que el primer subperíodo en el municipio de Larreynaga.
2. La caracterización agroclimática de la zona de estudio presenta una distribución espacial de las precipitaciones en sentido decreciente de noroeste-sureste ubicación de la estación de Mina el Limón, indicando que los mayores acumulados de precipitación se presentan esa estación, por tanto existe un menor acumulado de la precipitación en el poblado de Malpaisillo.
3. De acuerdo al índice estandarizado de precipitación (IPE), arroja que el 50 por ciento del municipio de Larreynaga presenta amenaza media por sequía meteorológica (región central del municipio), el 40 por ciento presenta amenaza alta por sequía alta (región sur del municipio Malpaisillo), y el 10 por ciento amenaza baja por sequía meteorológica (zona norte del municipio en la localidad de Mina El limón).
4. El comportamiento espacial de la temperatura media en el municipio de Larreynaga es el siguiente: la zona Suroeste del municipio tienen los valores más bajos de temperatura media oscilando entre 23 °c y 26 °c; ocupando el 6.4 por ciento del territorio, ubicado en el centro y que coincide con la parte más alta del municipio de Larreynaga y el 93.6 por ciento restante del territorio presenta los valores más altos de temperatura media oscilando entre 26.1 °c y 28 °c.

5. En el municipio de Larreynaga las precipitaciones anuales promedios son de 1432 mm, siendo el sector de Mina El Limón el más lluvioso con acumulado anual entre 1600 mm y 1700 mm; mientras el sector de Malpaisillo presenta los menores acumulados anuales en el municipio con rangos que oscilan entre 1000 mm y 1100 mm.
6. Se han identificado cuatro órdenes de suelo en el municipio de Larreynaga: Entisoles (ocupando 20 por ciento del área), Vertisoles (ocupando 40 por ciento del área), Inceptisoles (ocupando 1 por ciento del área) y Molisoles (ocupando 39 por ciento del área).
7. El municipio de Larreynaga presenta 6 distintos usos actual del suelo, el 35% en agricultura extensiva (sorgo, maíz, maní y frijol), el mayor porcentaje (45%) está destinado a ganadería extensiva, y el resto del territorio en bosque latifoliado de producción, protección de los RR NN, cárcavas y reductos de bosques de coníferas.
8. Los rendimientos actuales determinados en este estudio de los cultivos para el maíz son de 16.5 qq/mz y para el frijol es de 9.9 qq/mz en siembra de primera, respectivamente y de 23.4 (maíz) y 7.1 (frijol) quintales por manzana para siembra de postrera.
9. Con los datos agroclimáticos se determinaron los periodos de crecimiento óptimos en el municipio de Larreynaga para los cultivos en estudio de la siguiente manera: para el frijol (INTA rojo) el primer período de crecimiento debe iniciar en la tercera decena de mayo, teniendo una duración de 80 días y para el maíz (NB-s) el segundo período de crecimiento debe iniciar en la primera decena de septiembre con una duración de 100 días.

10. De acuerdo a los escenarios agroclimáticos, el área total idónea para la siembra de los cultivos de maíz y frijol en el municipio de Larreynaga es apenas el 0.7 por ciento del área total del municipio. Los cultivos de maíz y frijol se ven limitados por la baja pendiente y el orden Vertisoles que se encuentra en el municipio.
11. Esta metodología sirve como herramienta para realizar planificación para los cultivos de granos básicos como fue el maíz y frijol, ayudando a identificar las áreas más óptimas para el desarrollo de los diferentes cultivos. A su vez, sirva esta metodología para futuras zonificaciones agroclimáticas de cultivos en las distintas regiones del país.

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

- 1.** Efectuar sistemas de cosecha de agua en las regiones con alto grado de amenaza por sequía meteorológica, realizando estudios posibles de posicionamiento de presas o embalses en las zonas del municipio.
- 2.** Incorporación de rastrojos, abonos verdes, abonos orgánicos, barreras vivas, barreras muertas, es decir el mejoramiento de las prácticas agrícolas de los agricultores con el objetivo de aumentar los rendimientos de los suelos en el municipio de Larreynaga.
- 3.** Realizar estudios de escenarios de cambio climático en el municipio con el objetivo de preparar planes de mitigación y adaptación a los posibles efectos adversos del aumento de gases de efecto invernadero en la zona de estudio.
- 4.** Introducir sistemas de riego por goteo como sistema de adaptabilidad a los fenómenos de sequía en el municipio de Larreynaga.
- 5.** Realizar una zonificación agroclimática donde se evalúen todos los cultivos existentes en la región, con el objetivo de determinar el potencial agrícola del municipio de la Larreynaga.

CAPITULO VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Baron, Alicia, 2003. Modelos geoespaciales de la distribución de las variables climatológicas en el territorio colombiano.
2. FAO, publicación 33. Roma, 1979. Efectos del Agua sobre el Rendimiento de los Cultivos.
3. FAO, Roma 1981. Proyecto de Zonas Agro ecológicas, volumen III, América del Sur y Central.
4. FAO, publicación 56, 1990. Evapotranspiración del cultivo.
5. FAO, 2008. Plan Municipal de Respuesta Municipio de Larreynaga.
6. FAO, 2009. Guía de descripción de perfiles.
7. Frere, M. y Popov, G., FAO, 1986. Early Agrometeorological crop yield forecasting.
8. González. H*, Soto. F**, Martínez. J.M*, 2001* Instituto de Geografía Tropical (IGT)** Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Zonificación agroecológica del Coffea Arabica en un sector del grupo orográfico de Guamuhaya.
9. Hodgson, P., 1987. Muestreo y Descripción de Suelo.
10. INETER, Dirección General de Meteorología 1998. Zonificación Agroclimática de Cultivos de granos básicos de las Regiones Boaco y Chontales.
11. INETER, Dirección de Meteorología, 1998. Metodología de la Zonificación Matagalpa y Jinotega.
12. INETER, Dirección General de Meteorología 2007. Caracterización Climática del Departamento de León.

13. INTA, 2011. Guía Tecnológica cultivo de Frijol.
14. INIDE-MAGFOR, 2003. Departamento de León y sus municipios, Uso de la tierra y el agua en el sector agropecuario.
15. INETER, Dirección General de Meteorología 2008. Caracterización Climática del Departamento de Masaya.
16. INTA, 2009. Guía Tecnológica cultivo de Maíz.
17. Jansa Guardiola J.M., Madrid, 1969. Curso de Climatología.
18. Kukilov A., Rudenev G, 1980. Agrometeorología tropical.
19. Munsell Color Co., 1980. Munsell Soil Color Charts. Baltimore, MD.
20. Marín, Eduardo. UCATSE, 2010. Situación de la cartografía digital de suelos en Nicaragua.
21. MARENA, 2010. "Propuesta de estrategia Nacional de adaptación al cambio climático de la agricultura y ganadería".
22. Ministerio agropecuario y Forestal (MAGFOR), 2005. Tablas Nacionales de rendimiento de cultivos.
23. Porta, J; López-Acevedo Marta; Roquero Carlos, 2003 Edafología para la agricultura y el medio ambiente.
24. Rojas Oscar, 1987. Zonificación agroecológica para el cultivo del café en Costa Rica.
25. SINAPRED, 2008. Plan Municipal de Respuesta Municipio de Larreynaga.
26. Thornwaithe C.W, 1948. An approach toward a rational clasification of climate.
27. USDA, 1999. Libro de campo para descripción y muestreo de suelo.

ANEXOS

ANEXO 1

Análisis de consistencia de la precipitación mensual, Método de Carrera, figura 12

Estación: - MINA EL LIMON / MINA DEL LIMON			
Código: 60 002			
Años: 1969 - 2008			
Parámetro: precipitación (mm)			
Años	Ordenado	Suma	Corridas
1971	750.8	1759.9	A
1972	862.7	1149.7	B
1973	868.5	2098.5	A
1974	954.4	1434.0	B
1975	961.6	1445.8	A
1976	984.0	868.5	B
1977	1084.7	984.0	B
1978	1107.9	1356.1	B
1979	1149.7	1287.7	B
1980	1163.6	1393.1	B
1981	1287.7	2077.8	A
1982	1356.1	1844.2	A
1983	1367.2	1581.2	A
1984	1389.9	2281.9	A
1985	1393.1	2083.6	A
1986	1399.1	1895.8	A
1987	1421.2	1495.8	A
1988	1422.2	3129.2	A
1989	1434.0	1367.2	B
1990	1434.4	961.6	B
1991	1445.6	862.7	B
1992	1445.8	954.4	B
1993	1479.9	1538.4	A
1994	1495.8	1084.7	B
1995	1538.4	1434.4	B
1996	1556.5	1389.9	B
1997	1581.2	1163.6	B
1998	1759.9	2438.0	A
1999	1844.2	1556.5	B
2000	1895.8	1399.1	A
2001	1906.1	750.8	A
2002	2006.2	1421.2	A
2003	2077.8	1906.1	B
2004	2083.6	1107.9	A
2005	2098.5	1445.6	B
2006	2256.0	1479.9	B
2007	2281.9	2256.0	B
2008	2438.0	2006.2	B
2009	2561.5	1422.2	A
2010	3129.2	2561.5	B
mediana	1440.0	Corridas	16
Na	19		

Estación: Las Marias			
Código: 60020			
Parámetro: precipitación (mm)			
Años	Ordenado	Suma	Corridas
1971			
1972			
1973			
1974			
1975	748.2	1396.1	B
1976	758.6	758.6	B
1977	770.9	770.9	B
1978	989.5	1338.0	B
1979	1023.5	2708.0	A
1980	1046.0	1046.0	B
1981	1093.5	1493.3	A
1982	1154.0	1737.4	A
1983	1155.4	1306.9	B
1984	1272.9	1301.2	B
1985	1285.3	1527.2	A
1986	1290.2	1572.0	A
1987	1290.5	1322.9	B
1988	1301.2	1689.1	A
1989	1306.9	1792.8	A
1990	1322.9	1836.7	A
1991	1338.0	1272.9	B
1992	1396.1	1290.5	B
1993	1409.2	1409.2	A
1994	1493.3	989.5	B
1995	1527.2	1994.4	A
1996	1572.0	2041.3	A
1997	1632.2	1093.5	B
1998	1637.8	2868.6	A
1999	1689.1	1795.7	A
2000	1737.4	1290.2	B
2001	1764.8	1154.0	B
2002	1792.8	1155.4	B
2003	1795.7	1285.3	B
2004	1836.7	1023.5	B
2005	1994.4	1632.2	A
2006	2041.3	1637.8	A
2007	2239.8	2424.6	A
2008	2424.6	1764.8	A
2009	2708.0	748.2	B
2010	2868.6	2239.8	A
mediana	1402.7	Corridas	17
Na	18		

ANEXO 2

Formato de encuesta realizada en el municipio de Larreynaga

1. Información General.

1.1. Nombre de la Propiedad: _____

1.2. Departamento: _____

1.3. Municipio: _____

1.4. Comarca: _____

1.5. Localización Lat. Long. (UTM): _____

1.6. Tipo de suelo: _____

1.7. Pendiente: _____ Elevación (msnm): _____

1.8. Tipo de Vegetación y fauna predominante: _____

2. Climatología.

Seco Normal Húmedo

2.1. Característica de la ubicación de la zona: _____

2.2. Principales accidentes geográficos y cuerpos de agua existentes: _____

2.3. Antecedentes del comportamiento de las precipitaciones: _____

2.4. Antc. del comportamiento de la temperatura: _____

2.5. Antc. del comportamiento de los vientos: _____

2.6. Historia y tipo de los desastres naturales que han afectado a la localidad:

2.7. Pérdidas económicas causadas por tipos de desastres:

Sequía: _____ Duración: _____

Intensidad:_____ Frecuencia:_____ Meses de afectación / Época al año:

Huracanes:_____

Vientos:_____

Precipitaciones: _____

2.8. Principales efectos climáticos sobre la zona:_____

3. Agroclimatología.

3.1. Actividad económica predominante: _____

3.2. Tipo de cultivo existente:_____

3.3. Preparación y tratamiento del suelo antes de la siembra:_____

3.4. Tipo de variedad del cultivo:_____

3.5. Fecha de siembra:_____

3.6. Duración del ciclo vegetativo:_____

3.7. Tipo de siembra: _____

3.8. Norma de siembra de las semillas (Kg/ha.):_____

3.9. Agrotecnia durante el desarrollo del cultivo y trabajo de campo:

3.10. Tipo de plagas: _____

3.11. Tipo de enfermedades en las plantas: _____

3.12. Trabajo agrícola campo más comunes:_____

3.13. Rendimiento por cultivos:_____

3.14. Influencia del clima en la realización de los trabajos de campo:

3.15. Fenómenos meteorológicos más frecuentes que afectan el cultivo:

4. Estaciones meteorológicas de referencia

4.1. Características de ubicación de la estación meteorológica:

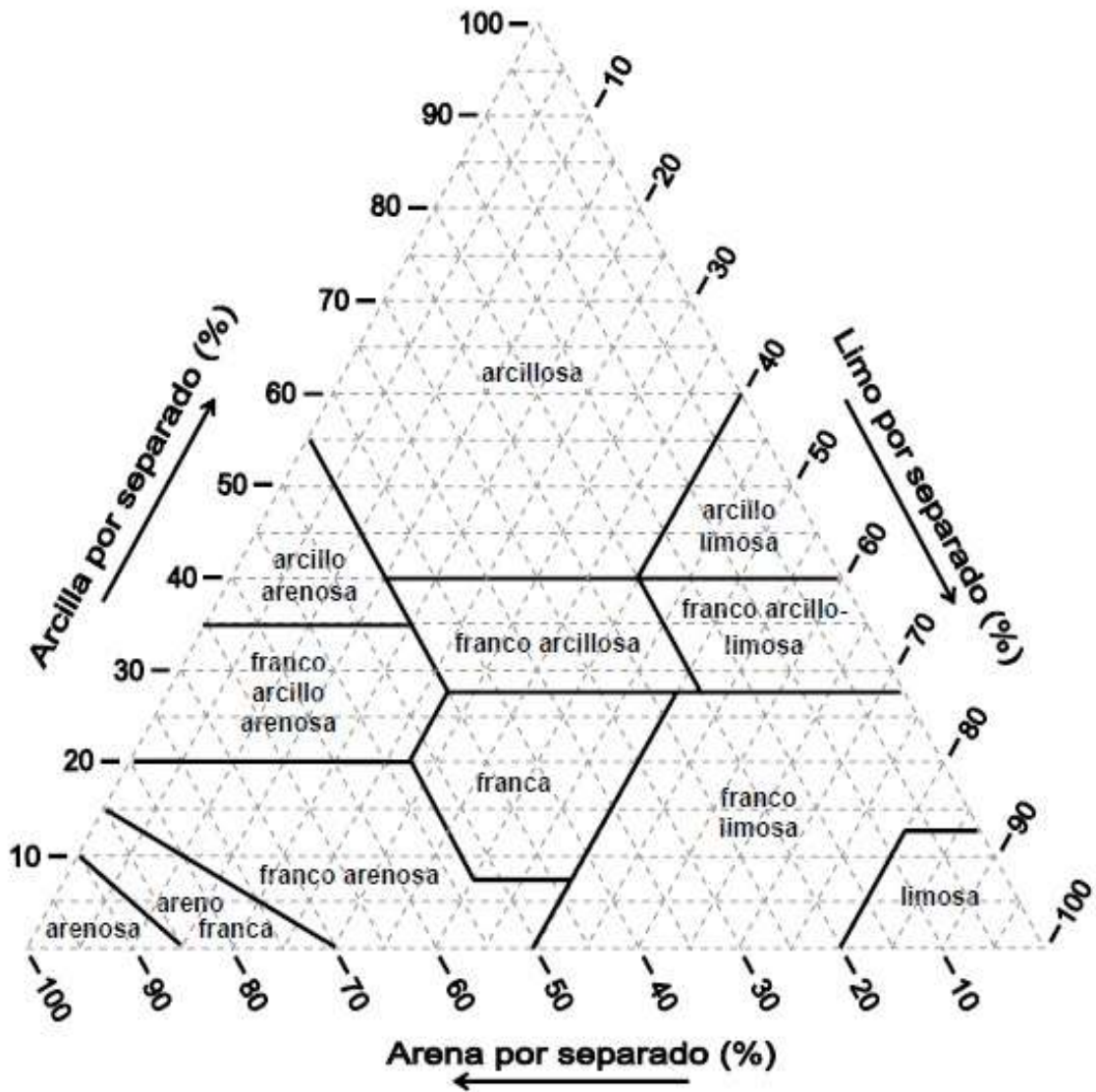
4.2. Calidad de las observaciones meteorológicas: _____

4.3. Entorno de la estación meteorológica: _____

4.4. Período de registro y continuidad de la información: _____

ANEXO 3, figura 13

Triángulo de textura:
Clases de textura en la fracción tierra fina (—)



ANEXO 4

Ecuaciones utilizadas para el cálculo evapotranspiración de referencia (ET_o)

- **Cálculo de la presión (P) se puede realizar con la siguiente ecuación**

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} = \text{KPa} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

z: es la elevación de la estación sobre el nivel del mar.(m)

- **Cálculo de la constante psicrométrica (γ) se puede realizar por la siguiente ecuación**

$$\gamma = \frac{(C_p)(P)}{(\epsilon)(\chi)} = \text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1} (0.665\text{E}^{-3}) \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

χ : calor latente de vaporación (2.45 MJ Kg⁻¹)

C_p: calor específico a presión constante (1013*10⁻³ MJ Kg⁻¹ °C⁻¹)

ε: cociente del peso molecular de vapor de agua / aire seco (0.622)

- **Cálculo de la presión de vapor para diferentes temperaturas se puede realizar de la siguiente ecuación**

$$e^0(T) = 0.6108 * \exp \left[\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right] = T \text{ KPa} \quad (\text{Ec.11})$$

- **Para luego calcular la presión media de vapor de saturación(e_s)**

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} = T \text{ KPa} \quad (\text{Ec.12})$$

Si no se posee el dato de la presión real de vapor (e_a), se puede derivar de datos de humedad relativa

$$e_a = \frac{e^0(T_{min}) \frac{HR_{max}}{100} + e^0(T_{max}) \frac{HR_{min}}{100}}{2} = K Pa \quad (\text{Ec.17})$$

ó

$$e_a = \left(\frac{HR_{med}}{100} \right) e^0(T_{med}) = K Pa \quad (\text{Ec. 19})$$

Dónde:

HR: humedad relativa

- **Para obtener el déficit de presión de vapor ($e_s - e_a$), se expresa con siguiente ecuación**

$$(e_s - e_a) = \left\{ \left[\frac{e^0(T_{min}) + e^0(T_{max})}{2} \right] - e_a \right\} = K Pa$$

- **Cálculo de pendiente de saturación de vapor (Δ) con la siguiente ecuación**

$$\Delta = \frac{4098 \left\{ 0.6108 \cdot \text{Exp} \left[\frac{(17.27)(T)}{(T+237.3)} \right] \right\}}{(T+237.3)^2} = T K Pa ^\circ C^{-1} \quad (\text{Ec.13})$$

Dónde:

T: temperatura media del aire. ($^\circ C$)

- **Cálculo de radiación**

Conversión de grados decimales a radianes

$$\Phi = \frac{\pi}{180} (\text{latitud en grados decimales}) = \text{rad.} \quad (\text{Ec.22})$$

- **Distancia relativa inversa tierra sol (dr)**

$$dr = 1 + 0.033 \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) J \right] \quad (\text{Ec.23})$$

Dónde:

J: es el número de días.

- **Declinación solar (δ)**

$$\delta = 0.409 \sin \left\{ \left[\frac{2\pi}{365} (J) \right] - 1.39 \right\} = \text{rad.} \quad (\text{Ec.24})$$

- **Angulo de radiación a la hora de la puesta del sol (Ws)**

$$Ws = \cos^{-1} [-\tan(\Phi) \tan(\delta)] = \text{rad.} \quad (\text{Ec.25})$$

- **Cálculo de radiación extra terrestre (Ra) con la siguiente ecuación**

$$Ra = \left\{ \left[\frac{(24)(60)}{\pi} \right] \right\} G_s dr [Ws \sin(\Phi) \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cos(\delta) \sin(Ws)] = \text{M J m}^{-2} \text{ min}^{-1} \quad (\text{Ec.21})$$

Dónde:

Gs: constante solar (0.082 M J m⁻² min⁻¹)

- **Duración máxima de la insolación(N) se puede calcular con la siguiente ecuación**

$$N = \frac{24}{\pi} (Ws) = \text{horas} \quad (\text{Ec.34})$$

- **Radiación solar o de onda corta (Rs)**

$$Rs = \left\{ a_s + \left[b_s \left(\frac{n}{N} \right) \right] \right\} Ra = \text{M J m}^{-2} \text{ dia}^{-1} \quad (\text{Ec.35})$$

Dónde:

En caso que no realizarse calibraciones previa a la ecuación, se recomienda usar valores de $a_s=0.25$ y $b_s=0.50$

n: duración real de la insolación(horas)

- Radiación solar de un día despejado (Rso)
- En caso de que los valores de a_s y b_s no estén calibrados (disponibles)

$$R_{so} = \{0.75 + [(2E^{-5})(Z)]\} R_a \quad (\text{Ec.37})$$

Dónde:

Z: Elevación de la estación sobre el nivel del mar (m).

- **Radiación neta de onda corta (Rns)**

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s = \text{M J } m^{-2} \text{ dia}^{-1} \quad (\text{Ec.38})$$

Dónde:

α : albedo o coeficiente de reflexión del cultivo (0.25) para el cultivo hipotético referencial.

- **Cálculo (estimación) de radiación neta de onda larga (Rnl)**

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{\max} K^4 + T_{\min} K^4}{2} \right) [0.34 - (0.14 \sqrt{e_a})] \left\{ \left[(1.35) \left(\frac{R_s}{R_{so}} \right) \right] - (0.35) \right\} = \text{M J } m^{-2} \text{ dia}^{-1} \quad (\text{Ec.39})$$

Dónde:

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($4.903E^{-9}$ M J K⁻⁴m⁻²dia⁻¹)

T_{xk} : temperatura durante un periodo de 24 horas ($K = ^\circ C + 273.16$)

e_a : presión de vapor real(algunas estaciones poseen este dato) = K Pa

- **Radiación neta (Rn).**

$$Rn = (Rns - Rnl) = M J m^{-2} dia^{-1} \text{ (Ec.40)}$$

Nota: Para periodos mensuales se debe de tomar en cuenta el flujo de calor del suelo (G). Si se asume una capacidad calorífica constante del suelo de $2.1 M J m^{-3} ^\circ C^{-1}$ y una profundidad media del suelo, con la ecuación 41 se deriva G para periodos mensuales.

$$G = C_s \left(\frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \right) \Delta z \quad \text{(Ec.41)}$$

- **Derivación (Ec.41) para calculus (G) mensuales:**

$$G_{mes,i} = 0.07(T_{mes,i+1} - T_{mes,-1}) \quad \text{(Ec.43)}$$

o, si no se conoce el valor de $T_{mes,i+1}$:

$$G_{mes,i} = 0.14(T_{mes,i} - T_{mes,i-1}) \quad \text{(Ec.44)}$$

Dónde:

$T_{mes,i}$: Temperatura media del aire en el mes i { $^\circ C$ }

$T_{mes,i-1}$: Temperatura media del aire en el mes i-1 { $^\circ C$ }

$T_{mes,i+1}$: Temperatura media del aire en el mes i+1 { $^\circ C$ }

- **Relación del viento con la altura (u_2), realiza una conversión de los datos obtenidos a diferente altura(2m)**

$$U_2 = U_z \left\{ \frac{4.87}{\ln[(67.8)(Z) - (5.42)]} \right\} \quad (\text{Ec.47})$$

Dónde:

U_2 : velocidad del viento a 2 m sobre la superficie (m s^{-1})

U_z : velocidad del viento medida a Z m sobre la superficie (m s^{-1})

Z: altura de medición sobre la superficie (m)

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G_{day}) + \gamma \left(\frac{900}{T + 257} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \{\gamma [1 + (0.34)(U_2)]\}} = \text{mm día}^{-1} \quad (\text{Ec.6})$$

ANEXO 5

Producción de biomasa bruta y neta

Para calcular la producción de biomasa neta (B_n) de un cultivo es necesario estimar la producción de biomasa bruta (B_g) y las pérdidas por respiración (R).

$$B_n = B_g - R \quad (1)$$

Esta ecuación relaciona la velocidad de producción de biomasa neta (b_n) con la velocidad de producción de biomasa bruta (b_g) y la velocidad de respiración (r).

$$b_n = b_g - r \quad (2)$$

La velocidad máxima de producción de biomasa neta se da cuando el cultivo cubre la superficie del terreno. La curva de crecimiento tiene forma sigmoidea (S) y en ella se representa el punto de inflexión de la curva de crecimiento (figura 13).

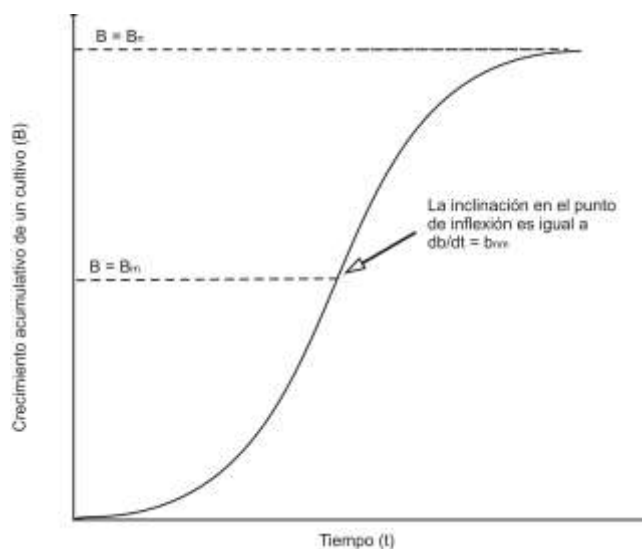


Figura 14. Curva de crecimiento

El modelo aquí utilizado presupone que la velocidad estacional media de producción de biomasa neta (b_{na}) es la mitad de la velocidad máxima de crecimiento del cultivo ($0.5 b_{nm}$), la producción de biomasa neta de un cultivo de N días (B_n) será:

$$B_n = 0.5 b_{nm} * N \quad (3)$$

En este caso para el cálculo B_n se utiliza el valor apropiado de N. Para calcular b_{nm} necesitamos conocer la velocidad máxima de producción biomasa bruta (b_{gm}) y la velocidad de respiración en ese tiempo (r_m).

5. Velocidad máxima de producción de biomasa bruta neta (b_{gm})

Para calcular b_{gm} , el punto de inicio es la función fotosintética de las hojas individualmente (fig. 9). Esta función describe la relación fotosintética activa en $cal\ cm^{-2}\ min^{-1}$ y la velocidad de intercambio de CO_2 en $mg\ dm^{-2}$ de superficie foliar h^{-1} , o la producción de hidratos de carbono en $kg\ CH_2O\ ha^{-1}$ de superficie foliar h^{-1} , se expresa la siguiente ecuación:

$$P_1 = A_r (A_r + P_m * e^{-1})^{-1} P_m \quad (4)$$

Dónde:

P_1 : Velocidad neta de intercambio de CO_2 de las hojas ($Kg\ ha^{-1}\ h^{-1}$)

A_r : Radiación fotosintética activa ($cal\ cm^{-2}\ min^{-1}$)

P_m : Velocidad de intercambio de CO_2 en saturación por la luz, o velocidad neta máxima de intercambio de CO_2 de las hojas ($Kg\ ha^{-1}\ h^{-1}$).

E: Eficiencia de la fotosíntesis, definida como P_m / A , donde A es la radiación con la cual $P_1 = 0.5 P_m$ ($Kg\ ha^{-1}\ h^{-1} / cal\ cm^{-2}\ min^{-1}$).

Figura 15. Relación entre la velocidad de fotosíntesis y la radiación

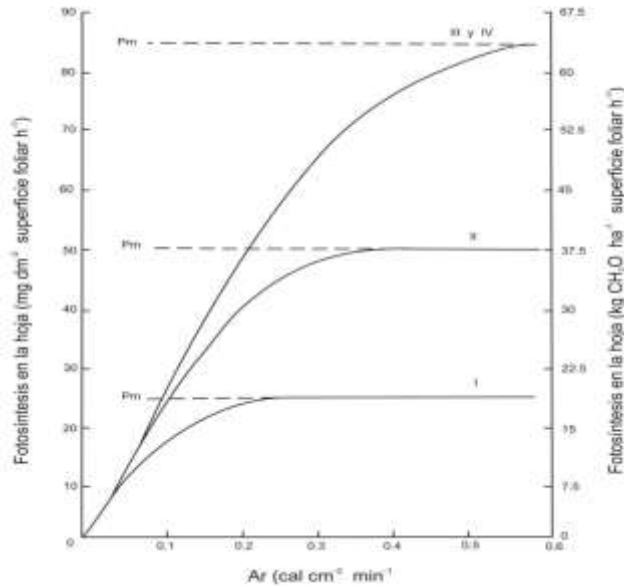


Figura 11. Relación entre la velocidad de fotosíntesis en la hoja (P_1) a temperatura óptima y la radiación fotosintéticamente activa (A), en los grupos de cultivos I, II, III y IV. P_m es la velocidad máxima de fotosíntesis en el punto de saturación por la luz.

En condiciones de campo, la velocidad máxima de intercambio de CO_2 o la velocidad de producción de biomasa bruta depende de cómo se distribuye la radiación dentro del follaje. La distribución de la radiación dentro de un cultivo puede calcularse estimando la radiación interceptada por cada capa de hojas en una función dada de distribución foliar.

La radiación fotosintéticamente activa en un día totalmente cubierto es el 20% de A_c y la radiación fotosintéticamente activa equivale al 50% de la radiación global total de onda corta (R_g), por lo que la fracción del período diurno durante el cual el cielo está cubierto (F) es:

$$F = (A_c - 0.5 R_g) / 0.8 A_c \quad (5)$$

La velocidad máxima de producción de biomasa bruta, puede calcularse para los días totalmente despejados, como para los días totalmente cubiertos. La velocidad efectiva de producción máxima de biomasa bruta (b_{gm}) es:

$$b_{gm} = F * b_o + (1 - F) b_c \quad (6)$$

Si se conoce la radiación global de la onda corta (R_g), es posible calcular el factor F con la ecuación (5) y b_{gm} con la ecuación (6).

6. Velocidad de respiración a la velocidad máxima de producción de biomasa bruta

McCree ha mostrado que la respiración de crecimiento es función lineal de la velocidad de la producción de biomasa bruta y la respiración de mantenimiento es función lineal de la biomasa neta que ya sea acumulado (B). Cuando la velocidad de producción de biomasa bruta es b_{gm} la velocidad de respiración (r_m) es:

$$r_m = k b_{gm} + cB_m \text{ Kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1} \quad (7)$$

Donde k y c son las constantes de proporcionalidad para la respiración de crecimiento y la respiración de mantenimiento y B_m es la biomasa neta (en el punto de inflexión de la curva de crecimiento, (Fig. 12). En el estudio de McCree, k resulto 28 para una leguminosa como para plantas no leguminosa y es independiente de la temperatura. En cambio, se encontro que variaba tanto con las especies como con la temperatura. A 30°C, c resulto ser 0.0283 para una leguminosa y 0.0108 para una planta no leguminosa. La dependencia de la temperatura en c, para las dos especies, es:

$$c_t = c_{30} (0.044 + 0.00019 T + 0.0010 T^2) \quad (8)$$

La diferencia en la respiración de mantenimiento entre las especies leguminosas y no leguminosas se debe a que el valor exacto depende de la composición química de la biomasa, en particular la velocidad de formación de las proteínas.

7. Velocidad máxima de producción de biomasa neta (b_{nm})

Combinando la ecuación de la respiración (7) con el modelo de De Wit de la velocidad de fotosíntesis bruta (6), es posible calcular la velocidad máxima de producción de biomasa neta o la velocidad de producción de materia seca cubierta completa. La ecuación es:

$$b_{nm} = 0.72 b_{gm} / (1 + 0.25 c_t N) \quad (9)$$

8. Producción de biomasa neta (B_n)

La producción de biomasa neta de un cultivo de N días se obtiene luego con la ecuación (3), donde $0.5 b_{nm}$ es la velocidad estacional media de producción de biomasa neta. La ecuación resultante para la producción de biomasa neta, cuando el índice foliar en el momento de máxima velocidad de producción de biomasa bruta es 5, será, por tanto:

$$B_n = 0.36 b_{gm} / (1 / N + 0.25 c_t) \quad (10)$$

Cuando el índice foliar < 5 , b_{gm} será menor y podrá calcularse multiplicando b_{gm} por el índice foliar 5 por el factor apropiado obtenido en la figura 11.

9. Rendimiento de los cultivos

La biomasa económicamente aprovechable (B_y) de un cultivo puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$B_y = B_n * H_i \quad (11)$$

Donde H_i es el índice de cosecha, definido como la fracción de la biomasa neta del cultivo que puede aprovecharse económicamente (ej.: grano de los cereales), y $H_i = B_y / B_n$.

Para un cultivo dado el valor H_i depende de varios factores, incluido el potencial genético del cultivo (alto o bajo rendimiento), el régimen hídrico (en seco o regadío) y el sistema de cultivo.

Para calcular el límite agronómico superior de rendimiento de un cultivo con un mínimo de impedimentos, se utilizarán valores H_i correspondientes a cultivares de alto rendimientos, con una reducción relativa en sus valores.

ANEXO 6

Calculo de Biomasa (Tabla 44)

Estación León (64043), cálculo de biomasa y rendimiento para el cultivo de maíz, para el periodo de primera (mayo-julio)

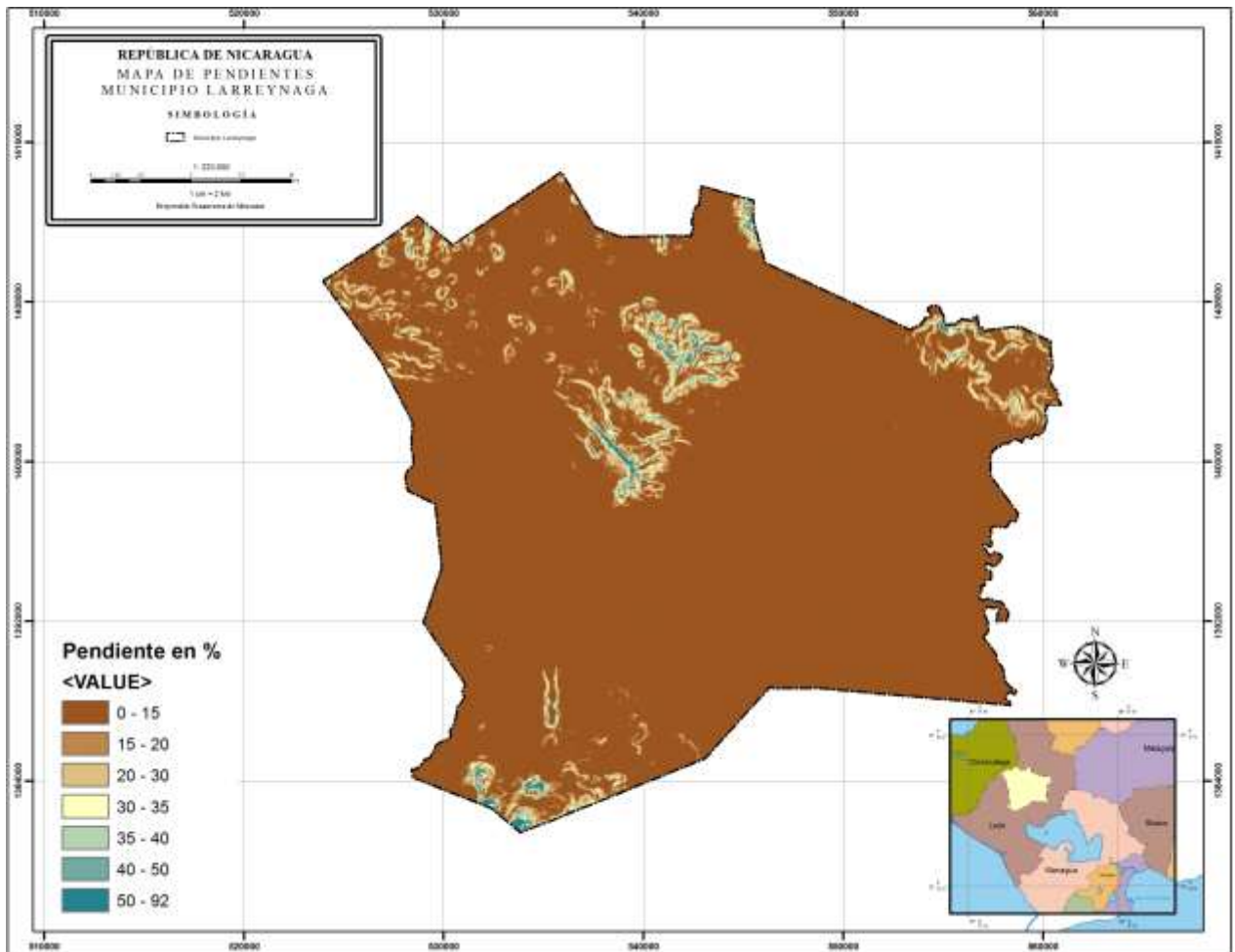
CALCULOS DE BIOMASA Y RENDIMIENTO POTENCIAL	
1. INFORMACIÓN DEL CLIMA	
CODIGO:	64043
Altitud de la estación:	60 msnm.
Coordenadas:	12 25 36 Latitud N.
Periodo de crecimiento:	80 días.
Inicio del periodo de crecimiento:	III Mayo
Finalización del periodo de crecimiento:	I Agosto
Promedio de radiación durante el periodo de crecimiento:	91.1 Cal *cm2* día (Radiación global).
Promedio de la temperatura diurna media durante el periodo de crecimiento:	26.7 Anual.
Promedio de la temperatura media de las 24 horas durante el periodo de crecimiento:	28.9 Mensual.
2. INFORMACION SOBRE EL CULTIVO	
Cultivo:	10 Maíz (Cultivares tropicales).
Dias de madurez:	100 días.
índice foliar en el punto de inflexión de la curva de crecimiento o en el momento de máxima velocidad de crecimiento:	3
índice de cosecha:	0.40 Gama.
Grupo de adaptabilidad:	C4 III No Adaptable
3. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA BRUTA (bgm).	
a)- Velocidad de fotosíntesis (Pm):	65 Kg / ha / h.
b)- Diferencia potencial entre Pm=efectivo y Pm=20 Kg/ha/día (DP):	225.0
c)- Promedio de radiación fotosintética activa en días despejados (Ac) durante el periodo de crecimiento :	375.8
d)- Fracción del día en que el cielo esta cubierto (F) :	1.09
e)- Velocidad media de producción de biomasa bruta en días perfectamente despejados con Pm = 20 Kg / día / ha (bc) durante el periodo de crecimiento:	439.8 Kg/ha/día
f)- Velocidad media de producción de biomasa bruta en días totalmente con Pm = 20 Kg / día / ha (bo) durante el periodo de crecimiento:	235.5 Kg/ha/día
g)- Velocidad de producción de biomasa bruta con Pm = 20 Kg / día / h é índice foliar 5 (bgm20) :	217.1 Kg/ha/día
h)- Velocidad de producción de biomasa bruta con Pm = 20 Kg / día / ha é índice foliar 5 (bgm65) :	288.1 Kg/ha/día
3. CALCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA NETA (Bn) Y DE BIOMASA ECONOMICAMENTE APROBECHABLE (By).	
a)- Coeficiente de respiración de mantenimiento a Plantas leguminosas 30° C (c30):.	0.0108
b)- Coeficiente de respiración de mantenimiento a Temperatura media anual (ct):.	0.0096
c)- Producción de biomasa neta (Bn):.	55.89 qq / mz
d)- Biomasa económicamente aprovechable (By):.	22.36 qq / mz

Estación El Sauce (60005), cálculo de biomasa y rendimiento para el cultivo de frijol, para el periodo de primera (mayo-julio)

CALCULOS DE BIOMASA Y RENDIMIENTO POTENCIAL	
1. INFORMACIÓN DEL CLIMA	
CODIGO:	60005
Altitud de la estación:	180 msnm.
Coordenadas:	12 52 34 Latitud N.
Periodo de crecimiento:	80 días.
Inicio del periodo de crecimiento:	III Mayo
Finalización del periodo de crecimiento:	I Agosto
Promedio de radiación durante el periodo de crecimiento:	91.1 Cal *cm2* día (Radiación global).
Promedio de la temperatura diurna media durante el periodo de crecimiento:	26.1 Anual.
Promedio de la temperatura media de las 24 horas durante el periodo de crecimiento:	26.3 Mensual.
2. INFORMACION SOBRE EL CULTIVO	
Cultivo:	4 Frijoles phaseolus (Cultivares tropicales).
Días de madurez:	80 días.
índice foliar en el punto de inflexión de la curva de crecimiento o en el momento de máxima velocidad de crecimiento:	3
índice de cosecha:	0.35 Gama.
Grupo de adaptabilidad:	C3 II Adaptable
3. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA BRUTA (bgm).	
a)- Velocidad de fotosíntesis (Pm):	65 Kg / ha / h.
1 b)- Diferencia potencial entre Pm=efectivo y Pm=20 Kg/ha/día (DP):	225.0
c)- Promedio de radiación fotosintética activa en días despejados (Ac) durante el periodo de crecimiento :	375.8
2 d)- Fracción del día en que el cielo esta cubierto (F) :	1.09
e)- Velocidad media de producción de biomasa bruta en días perfectamente despejados con Pm = 20 Kg / día / ha (bc) durante el periodo de crecimiento:	439.8 Kg/ha/día
f)- Velocidad media de producción de biomasa bruta en días totalmente con Pm = 20 Kg / día / ha (bo) durante el periodo de crecimiento:	235.5 Kg/ha/día
3 g)- Velocidad de producción de biomasa bruta con Pm = 20 Kg / día / h é índice foliar 5 (bgm20) :	217.1 Kg/ha/día
4 h)- Velocidad de producción de biomasa bruta con Pm = 20 Kg / día / ha é índice foliar 5 (bgm65) :	288.1 Kg/ha/día
3. CALCULO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA NETA (Bn) Y DE BIOMASA ECONOMICAMENTE APROBECHABLE (By).	
a)- Coeficiente de respiración de mantenimiento a Plantas leguminosas 30° C (c30):.	0.0283
b)- Coeficiente de respiración de mantenimiento a Temperatura media anual (ct):.	0.0210
c)- Producción de biomasa neta (Bn):.	39.04 qq / mz
d)- Biomasa económicamente aprovechable (By):.	13.67 qq / mz

ANEXO 7

Mapa de Pendientes



Fuente: Elaboración propia

