

## INTRODUCCIÓN

Las plantaciones cafetaleras de Venezuela están ubicadas a lo largo de las áreas montañosas de clima medio, en la Cordillera de los Andes y la Cordillera de la Costa, repartidas a lo largo del relieve de ambas cordilleras en áreas de extensión muy variables. La mayor parte en lomas, laderas y hondonadas, y muy pequeñas superficies en vegas y valles en un piso altitudinal entre los 700 m a 1600 m.s.n.m. y ocasionalmente en zonas por debajo o por encima de este piso a las cuales se las considera áreas marginales para el cultivo (García 1988).

Para el año 1984, en Venezuela existían 58.949 fincas cafetaleras, muchas con pequeñas superficies, que variaban entre 1 y 5 hectáreas, para un 46 por ciento de la extensión cultivada en el territorio nacional (UCV-FONCAFE 1986).

Es casi condición *sine qua non* que estas plantaciones se encuentran ubicadas en las partes altas de las principales cuencas hidrográficas de nuestro territorio nacional, entre ellas la Cuenca del río Boconó, específicamente el municipio Boconó, que en todo su territorio se encuentra bajo las figuras de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE). En el municipio se identifica el grado de importancia desde el punto de vista ambiental, donde se encuentran ubicados los Parques Nacionales Dinira y General Cruz Carrillo (Guaramacal) y las Zonas Protectoras de los ríos Castán, Guanare, Boconó, Tucupido y Masparro, y el Monumento Natural Teta de Niquitao.

La parroquia Mosquey se encuentra ubicada en la cuenca Media del río Boconó, en el municipio Boconó del estado Trujillo, allí se observan cambios de usos de la tierra y algunas plantaciones de café en pendientes mayores que 60% y en suelos marginales para el cultivo, en consecuencia se presentan condiciones ideales para la erosión hídrica, activando procesos de degradación de suelo que afectan la fertilidad de los suelos y en consecuencia la productividad de los cafetales, además si

los procesos de erosión se acentúan, la tasa de sedimentación puede poner en peligro la vida útil del embalse Boconó-Tucupido, dado que la red hidrográfica drena hacia éste.

En tal sentido, cabe destacar la importancia de ordenar la aptitud de uso de los suelos bajo explotaciones cafetaleras, para ello se plantea la clasificación de suelos del referido sector, como factor regulador de la planificación agrícola y de tal manera, poder incrementar los rendimientos de producción a través de un manejo adecuado para estas áreas, además se evitaría que se sigan atenuando los procesos de degradación de suelos, y tener una herramienta que permita establecer sistemas de manejo de acuerdo con las características del suelo.

Hay que tener en cuenta que los sistemas de clasificación de suelos fueron desarrollados por los seres humanos para organizar ideas y priorizar usos adecuados (Cline, 1963, en Boul *et al.* 2000). Sin embargo, es importante entender que estos sistemas de clasificación se encuentran en una constante evolución y hay que adaptarlos en función a las características intrínsecas del suelo y las actividades antrópicas que se hayan desarrollado en el mismo.

Finalmente el objetivo fundamental de esta investigación es determinar la aptitud física de los suelos para el cultivo café (*Coffea arabica*) en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó, estado Trujillo mediante la metodología para la evaluación de tierras para agricultura en seco de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Es conveniente determinar la aptitud física de los suelos en el área para orientar el manejo agronómico del cultivo y del suelo, la planificación y la toma de decisiones técnicas y en tal sentido, este estudio aportará información necesaria que podría ser utilizada para corregir, mitigar o controlar el manejo de las plantaciones cafetaleras adyacentes al sector.

## **CAPÍTULO I. OBJETIVOS, ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN FÍSICO NATURAL.**

### **1.1 OBJETIVOS.**

#### **1.1.1. General.**

Determinar la aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), a través de la metodología de la FAO y la aplicación de paquetes estadísticos en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.

#### **1.1.2. Específicos.**

2. Determinar la aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), mediante la metodología para la evaluación de tierras para agricultura en secano de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.
  - Determinar la aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), a través de la aplicación de paquetes estadísticos en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.
  - Confrontar los resultados obtenidos de aptitud física de tierra por la metodología de la FAO y la aplicación de paquetes estadísticos y elaborar el mapa de aptitud física de la tierra para el cultivo de café, mediante un sistema de información geográfico.

## **2.1. ÁREA DE ESTUDIO.**

### **2.1.1. Ubicación geográfica**

La Unidad de Producción Socialista (UPS) “Argimiro Gabaldón” se encuentra ubicada en el sector La Hoyada II, parroquia Mosquey, municipio Boconó, estado Trujillo, Venezuela. Sobre las siguientes coordenadas:

Latitud Norte 367.000 – 367.700, Longitud Este 1.027.900 – 1.027.600.

### **2.1.2. Ubicación política**

El estudio se realizó en el sector La Hoyada, parroquia Mosquey, ubicada dentro la cuenca media Boconó. La UPS Argimiro Gabaldón tiene una extensión de 35,5 ha. y se encuentra dentro de un Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), bajo la figura jurídica de ZONA PROTECTORA DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS GUANARE, TUCUPIDO, BOCONÓ, LA YUCA Y MASPARRO. (Decreto 107 del 26/05/74 de la Presidencia de la república) (Fig. 1).

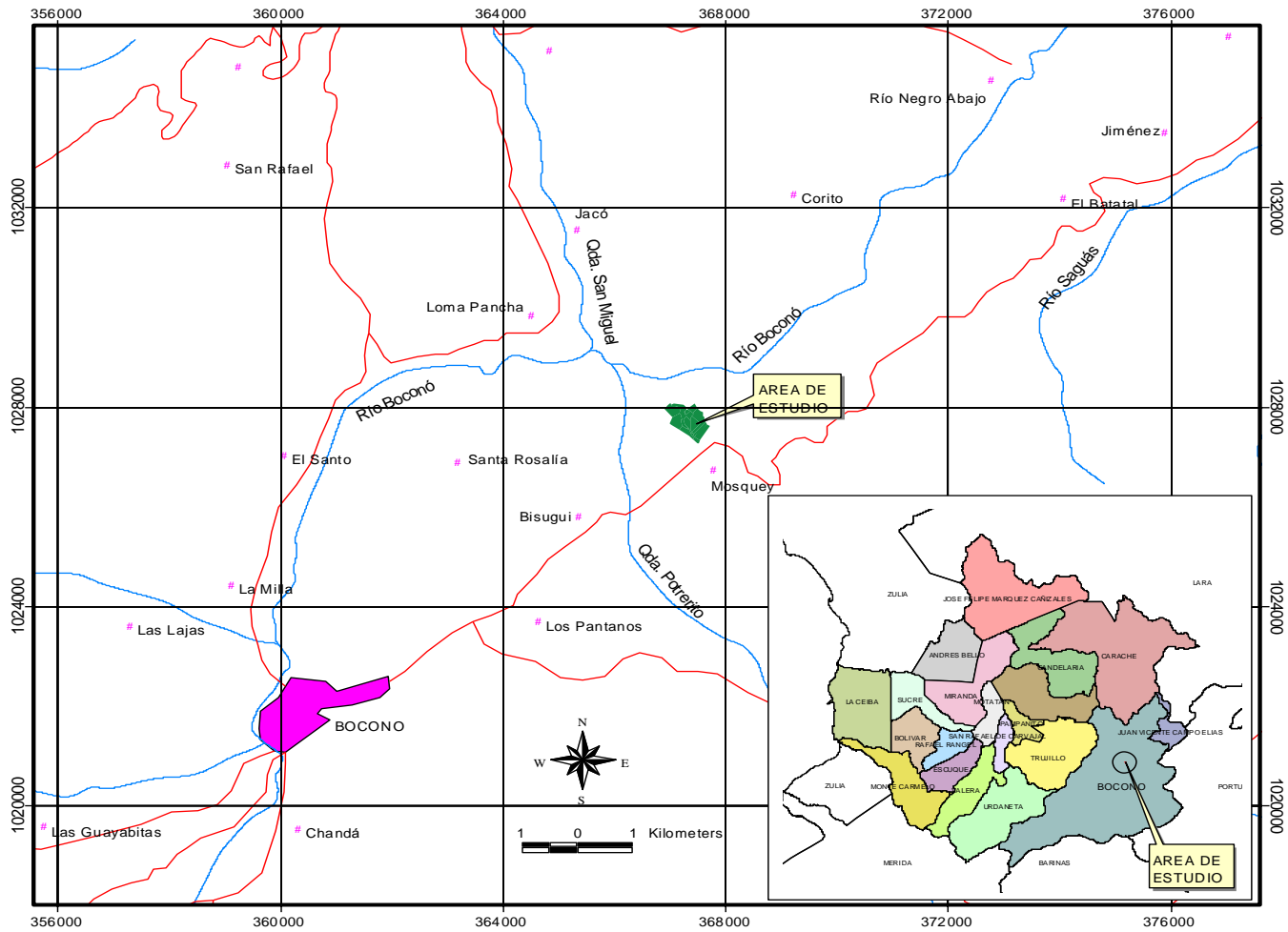


Figura 1. Ubicación relativa del área de estudio.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-NATURAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.

### 2.2.1. Medio Físico.

#### 2.2.1.1. Clima.

Los registros de las variables climáticas fueron tomados de la estación meteorológica Hacienda San Giusto (Serial 7142) a 1500 msnm (tabla 1), para un período de registro de 10 años. La lluvia presenta un régimen unimodal con tres meses secos (enero, febrero y marzo) y nueve húmedos. Las variables climáticas son:

- Precipitación: La precipitación promedio anual para el área de estudio es de 1.854,7 mm., registrándose los promedios máximos (mensual) en el mes de junio.
- Temperatura: La temperatura promedio en el área oscila entre 17° y 18 °C.
- Evaporación media anual: 1.158 mm
- Zona de vida: La zona de vida en el área de estudio se clasifica en Bosque húmedo montano bajo (bh-MB), corresponde a un sistema de clasificación bioclimáticas de las comunidades vegetales naturales en función de los factores climáticos, y su relación con las latitudes y pisos altitudinales (Ewel, Madriz y Tosi, 1976).

**Tabla 1. Estación meteorológica Hacienda San Giusto, Parroquia Mosquey, Municipio Boconó.**

Estación	Serial	Ubicación		Elevación (m.s.n.m.)	tipo	Periodo Reg.	Org. Resp.	Prec. Anual (mm.)	Temp. Media (° C)
		Lat	Long						
Hacienda San Giusto	7142	09° 18´	70° 13´	1.499	C2	72-90	MARNR	1.854,7	18,5

C2: Estación Climatológica.

Fuente: MARNR (1980 - 1990).

### **2.2.1.2. Suelos.**

A nivel general se destacan dos unidades geomorfológicas: depósitos cuaternarios de fondo de valle (terrazas fluviales longitudinales) y una unidad de vertientes o laderas inclinadas.

En el área de estudio la litología predominante está representada por Gneisis y algunos esquistos del Complejo Iglesias (edad Precámbrico) que se encuentra en contacto de falla con calizas duras, de color gris oscuro a negro del miembro superior de la Formación Palmarito (Landaeta, 2006).

Los suelos predominantes son del orden Ultisoles (suelos evolucionados), los cuales poseen de moderadas a severas limitaciones para la producción agrícola. Diferentes unidades de suelo se encuentran distribuidas de acuerdo a las formas de relieve como valles, terrazas, mesas, entre otras. La calidad del suelo y la geomorfología, tienen un peso importante en la determinación del potencial agrícola, tomando en cuenta que se debe manejar los suelos de acuerdo a la sensibilidad y características de la zona.

La zona se ha estudiado a un bajo nivel de detalle, por lo que la información edáfica es reflejada como asociaciones o grandes grupos de suelo. La unidad de suelo que predomina en la zona, de acuerdo al Estudio a Gran Visión de los Suelos de la Zona Protectora Guanare-Masparro (MARN, 2001) (tabla 2), es la S3 (M003). De acuerdo con este estudio ocupa el 100% del área de la unidad. Corresponde a suelos clasificados dentro del orden Ultisol, de moderada a alta acumulación de materia orgánica en horizontes superficiales y muy evolucionados. Generalmente son suelos poco profundos, ácidos y de baja fertilidad natural.

**Tabla 2. Unidades de suelo distribuidas en la Zona Protectora**

Símbolo	Suelos dominantes	Superficie	
		(ha)	(%)
S3 (M003)	Haplohumults	35,528	100

Fuente: MARN (2001).

### **2.2.1.3. Evolución del Paisaje y Geomorfología.**

En el Eoceno y el Oligoceno inferior es cuando se inicia el proceso orogénico que trajo como consecuencia el levantamiento de la Cordillera de los Andes venezolanos (Cozas *et al.* 1980).

Estos movimientos de placas tectónicas y los cambios climáticos pasados (paleoclimas), fueron los responsables de las principales modificaciones que experimentaron los paisajes ubicados en las estribaciones de la mencionada cordillera, configurando diferentes relieves: montañas, colinas, lomas, valles y terrazas.

### **2.2.1.4. Pendientes y Piso Altitudinal.**

El relieve en general es inclinado, con pendientes que oscilan entre 12 y 75%, estas se evidencian en formas de relieve como terrazas fluviales longitudinales y terrenos accidentados en vertientes inclinadas. El área de estudio se encuentra entre los pisos altitudinales 1480 y 1580 m.s.n.m.

## **CAPÍTULO II. DESARROLLO DEL TRABAJO.**

### **2.1. BASES CONCEPTUALES.**

La evaluación de tierras es la valoración de la explotación de la tierra cuando se utiliza con propósitos específicos. En este sentido, ofrece una base racional para tomar decisiones relativas al uso de la tierra basadas en análisis de las relaciones entre la utilización de la tierra y la tierra misma, con estimaciones de los insumos necesarios y de la producción proyectada (FAO, 1985).

La evaluación de tierra es una de las herramientas necesarias para una planificación racional de los recursos naturales y humanos, la planificación prevee que cada área deba ser utilizada de tal manera que se obtenga el máximo beneficio para la sociedad, sin degradación de los recursos (Ordenamiento Territorial Rural Sostenible, 2003).

En la actualidad la utilización óptima de la tierra es de vital importancia, debido a que el rápido crecimiento demográfico y la expansión urbana hacen que la agricultura disponga de menos superficies cultivables. En tal sentido, para poder abastecer la demanda agroalimentaria de la población es necesario clasificar las tierras de conformidad con su aptitud para diferentes tipos de utilización, en otras palabras, se busca su máxima potencialidad.

Delgado (1996) indica que las cuencas hidrográficas altas, cumplen un rol fundamental en la generación de los recursos hídricos, y en Venezuela en zonas de montaña existen áreas donde se desarrolla una intensa actividad agrícola, que debe ser orientada y ordenada en función de garantizar la productividad sostenida. Este ordenamiento agrícola conservacionista necesita sustentarse en la capacidad de uso de los suelos.

Delgado (1997), propone un sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales, basados en el índice de productividad (IP) y en el índice de riesgo de erosión (IRE), con el objeto de indicar prioridades de tratamiento, requerimiento de prácticas de conservación y los usos generales más adecuados para cada clase de tierra.

En relación al desarrollo rural y la aplicación de políticas de financiamiento y de asesoría técnica, García (1988) indica que se deben seleccionar áreas apropiadas para el cultivo de café (*Coffea arabica*), así como intensificar el trabajo de mejoramiento y desarrollo de la franja cafetalera. En cada estado hay que seleccionar áreas, que agrupen varios productores, donde una acción mancomunada de servicios se combine con una asistencia técnica y crediticia eficiente, que permita extender su efecto hacia unidades de tierras más amplias y homogéneas en poco tiempo, convirtiendo áreas marginales en modelo de transformación para la caficultura venezolana.

En función a lo anteriormente expuesto, es importante destacar que en el área de estudio se han venido ejecutando exitosamente, algunos estudios de ordenamiento territorial.

En el año 1986 se realizó el diagnóstico de la cuenca del Río Boconó por parte del Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT) y el Centro de Ecología Boconó, contando con la participación de la ULA, el CONICIT, Corpoandes y la gobernación del estado Trujillo.

Posteriormente en el año 1989 se elaboró el Plan de manejo conservacionista de la cuenca, priorizando áreas para el tratamiento y la propuesta de una serie de acciones correctivas estructuradas en programas y proyectos. Estos estudios sirven de base para que, a partir del año 1992 se implemente el programa de conservación de la cuenca bajo el Convenio Internacional MARN – BID.

Gásperi (1999) realizó estudios para conocer la condición de sedimentación del embalse La Coromoto, con la finalidad de ofrecer una propuesta para su estimación futura. En esos estudios se demostró que la cuenca del Río Boconó promueve una elevada producción de sedimentos y también en todo el embalse una pérdida de 20% en volumen por sedimento acumulado en 14 años, el volumen muerto se redujo en 53% y la vida útil restante quedó en 21 años. Esto como consecuencia del establecimiento de cultivos limpios y ganadería extensiva en altas pendientes, prácticas inadecuadas en las unidades de producción y desorden en la asignación de usos de la tierra.

Briceño *et al.* (2011) utilizó los sistemas de información geográficos y la geoestadística con el propósito de sugerir alternativas para el manejo efectivo del cultivo de café, en la zona media de la cuenca del río Castán, Municipio Trujillo, estado Trujillo, mediante el empleo de herramientas de Sistemas de Información Geográficos (SIG) y técnicas de Agricultura de Precisión (AP) que definen espacios pequeños o microparcels con Manejo de Sitio Específico (MSE), dentro de una unidad de mayor tamaño, tomando como factor de definición de esos sitios de manejo, a la variabilidad espacial de algunos parámetros de suelo.

Los sistemas de información geográficos son una tecnología de manejo de información cartográfica formada por equipos electrónicos programados adecuadamente, que permiten manejar una serie de datos espaciales y realizar análisis complejos con éstos, siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico (Ortiz, 2005).

Aldana y González (s/f), utilizaron la aplicación de los SIG para la planificación y ordenamiento territorial con un enfoque conservacionista tomando la cuenca hidrográfica como unidad de planificación.

Arroyo (1999) realizó una evaluación física y económica del café monocultivo con sombra tecnificado, por medio de un sistema automatizado de evaluación de

tierras, utilizando sistemas de información geográfico. Concluyó que estos sistemas son herramientas bastante versátiles y que además pudo incorporar la experiencia de los agricultores y técnicos para hacer estimaciones de aptitudes y rendimientos.

Aular (2006) determinó la aptitud física de las áreas cafetaleras de la microcuenca del río Monaicito, estado Trujillo y determinó que el 94,3 % de las unidades de tierra clasificaron como moderadamente aptas para el TUT café bajo secano.

Sin embargo, a pesar que existen suficientes metodologías de clasificación de tierras, la parroquia Boconó y la cuenca media del Río Boconó carecen de un sistema de clasificación o zonificación de tierras. Los trabajos pertinentes a las zonas agrológicas se ubican en aéreas ajenas a la microcuenca en estudio.

## **2.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

**2.2.1. Determinar la aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), mediante la metodología para la evaluación de tierras para agricultura en secano de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.**

**2.2.1.1. Levantamiento de la información de los suelos a través del método de la grilla en el área de estudio, con la utilización de un sistema de información geográfico.**

Se cartografió la poligonal de la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón” mediante un GPS Explorist 100, configurado con los siguientes parámetros: Sistema de coordenadas: Universal transversa de Mercator (UTM), Datum: WGS84, unidades de altitud: metros, unidades de distancia: metros.

Para obtener mejores resultados en el levantamiento de la poligonal, se ubicó un vértice del área de estudio y se procedió a georeferenciar puntos en sentido horario, sin omitir ningún punto, es decir, los vértices fueron marcados de forma consecutiva y de acuerdo al límite del predio.

Luego de obtener todos los vértices de la poligonal se realizó una sobreposición con la imagen satelital obtenida en el software Google Earth 5.2.1.1588 para obtener una mejor visión del área de estudio y realizar el método de muestreo.

Para el muestreo detallado del área se utilizó un sistema de posicionamiento global (GPS) y los sistemas de información geográfica (GIS), a través del software ARG GIS 9.0, estas herramientas representan un potencial para mejorar la evaluación de tierras.

El muestreo convencional por unidades de suelo puede no ser apropiado para la agricultura detallada, ya que los mapas que existen del área de estudio se encuentran a una escala 1:100.000, por tanto, existe una alta variación dentro de las

unidades de mapeo. Debido a esta situación y en pro de obtener mayor confiabilidad en los datos, se utilizó el método de la grilla.

Gutiérrez (2009) describe que el método de la grilla utiliza una distribución discreta para aproximar cualquier tipo de distribución discreta o continua sin importar su nivel de complejidad. De tal manera se acoge este método por la exactitud y rigidez que presenta y elimina la percepción humana. Por tanto, el muestreo consistió en subdividir sistemáticamente el área total de la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón” en celdas de (100 x 100 m.), en otras palabras cada punto de muestreo es representativo de 1 ha en el terreno.

Luego se recolectaron muestras de suelos georeferenciadas de toda la zona de producción, en unos perfiles de suelos con dimensiones de 60x60x60 cm a una intensidad definida (1 muestra/hectárea), a las mismas se le realizaron análisis físico-químicos y con estos datos se procedió a generar mapas temáticos. Los perfiles son calicatas del lugar más representativo dentro del sitio donde corresponde realizar una muestra, de modo que responda a las características generales del área de muestreo (Fig. 2).



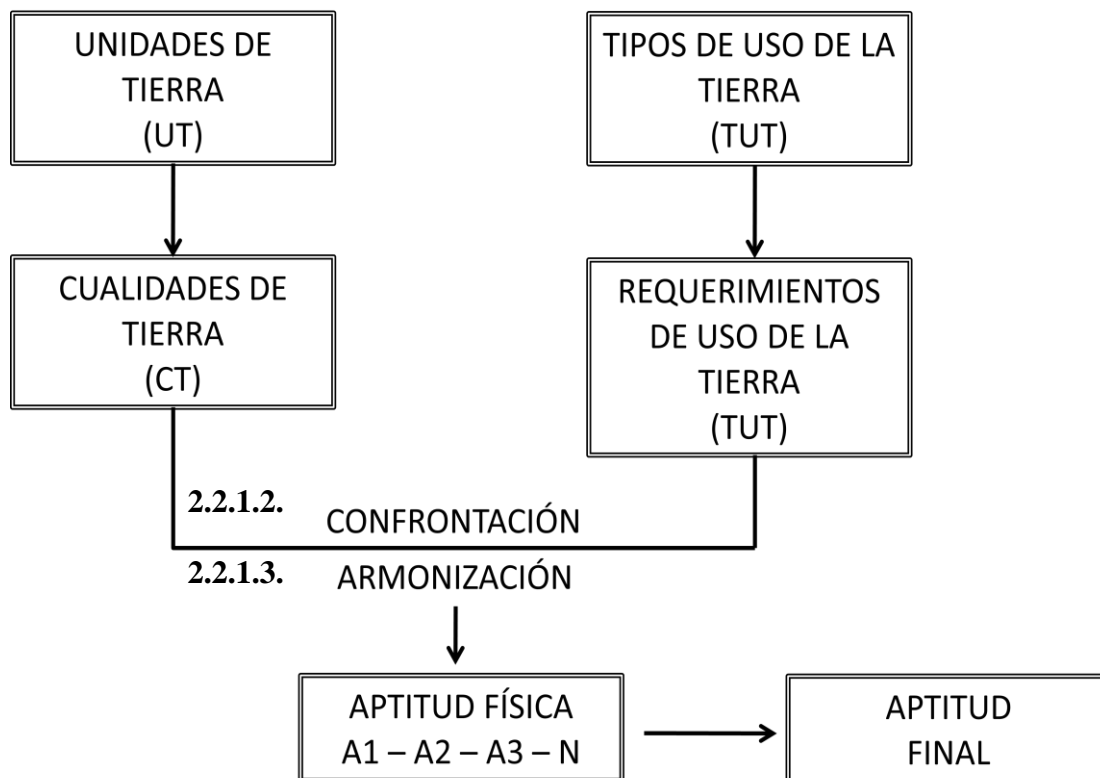
**Figura 2. Hoyos para muestrear los suelos**

En cada hoyo de observación se procedió a realizar una descripción del perfil de suelo, procediendo con una caracterización de los factores edáficos a través de una “Planilla para la descripción de puntos de muestreo” (Tabla 3).

**Tabla 3. Planilla para la descripción de puntos de muestreo**

Planilla para la descripción de puntos de muestreo			
Código de punto de Muestreo: _____		Fecha: Día: ____ Mes: ____ Año: 2012	
Autor (es): _____		Cultivo/variedad: _____	
<b>Localización</b>			
Nombre del sitio ó lote : _____; Número de muestras: _____			
Coordenadas: Este: _____ m Norte: _____ m Altitud: _____ M.S.N.M			
Nº Horizontes: _____ Prof. Horizonte 1: _____ cm Prof. Horizonte 2: _____ cm Prof. Horizonte 3: _____ cm			
<b>Descripción del sitio</b>		<b>Vegetación predominante</b>	
<b>Posición fisiográfica</b>			
<b>S</b>	<b>C</b>	<b>Etiqueta</b>	
	1	Cumbre o pendientes	
	2	Meseta	
	3	Escarpe	
	4	Terraza Fluvial	
	5	Fondo Valle	
	6	Depresión	
	7	Planicie o llanura	
		<b>S</b>	<b>Nº</b>
			1
			2
			3
		<b>Etiqueta</b>	
		Arbórea	
		Arbustiva	
		Herbácea	
		<b>Profundidad efectiva</b>	
<b>S</b>	<b>C</b>	<b>PE (cm)</b>	<b>Categoría</b>
	1	> 100	Muy profundo
	2	60-100	Profundo
	3	40-60	Medianamente profundo
	4	20-40	Poco profundo
	5	< 20	Muy poco profundo
<b>Pendiente</b>			
<b>S</b>	<b>C</b>	<b>P (%)</b>	<b>Categoría</b>
	1	< 2	Plano o casi plano
	2	2 – 8	Ondulado
	3	8 – 16	Fuertemente ondulado
	4	16 – 30	Colinoso
	5	> 30	Escarpado
<b>Uso agrícola:</b>			
<b>S</b>	<b>Nº</b>	<b>Etiqueta</b>	
	01	Café	
	02	Hortalizas	
	03	Raíces y	
		Tubérculos	
	04	Forestales	
	05	Frutales	
	06	Otros usos	
	07	No explotadas	

Para aplicar la metodología de la FAO (1985) se identificaron las unidades de tierra (UT), luego se seleccionaron, los Tipos de Utilización de la Tierra (TUT) a evaluar en el área de estudio, se eligieron las cualidades de la tierra (CT) más importantes para determinar la aptitud física; seguidamente se establecieron los factores diagnósticos (modelos), a fin de evaluar para cada TUT, las cualidades seleccionadas. Finalmente, se realizó el proceso de armonización; es decir, la comparación de los requisitos de los TUT con las cualidades relevantes de las unidades de tierras para determinar la aptitud de la tierra al TUT actual y a los TUT potenciales. A continuación se presenta el procedimiento básico de la evaluación de tierras (FAO, 1976). (Fig. 3)



**Figura 3. Procedimiento básico de la evaluación de tierras (FAO, 1976).**

### **2.2.1.2. Selección y caracterización de los tipos de utilización de tierras (TUT) actuales para cada unidad de tierra (UT) en el área de estudio.**

Las unidades de tierra se definen a partir de la información cartográfica de las tierras (factores físico - naturales), en este procedimiento se utilizó una imagen de satélite obtenida en el software Google Earth 5.2.1.1588, y se realizó un chequeo de campo para conocer la fisiografía del área de estudio. Luego se trabajó con el software ARG GIS 9.0, creando una nueva capa temática denominada “Unidades de tierra”.

Un Tipo de Utilización de la Tierra (TUT) puede definirse como “una clase de uso de la tierra descrita o definida en un grado de detalle superior a una mejor clase de uso de la tierra” (FAO, 1976); los puntos clave son el contexto socioeconómico en cual el TUT va a ser realizado, y los detalles técnicos del sistema de uso de la tierra, ambos deben ser especificados por la definición del TUT para estar completo.

Un tipo de utilización de la tierra consiste en una clase de uso de la tierra definida más detalladamente, de acuerdo con una serie de especificaciones técnicas, en un determinado marco físico, económico y social. El sistema de evaluación de tierras considera que el uso de la tierra es tan determinante para la definición de la aptitud como la tierra misma, considerando al tipo de utilización de la tierra como el sujeto y a la tierra como el objeto de evaluación (FAO, 1985).

Por tanto, teniendo en cuenta estos criterios propuestos por la FAO, se identificó el tipo de utilización de la tierra actual en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, en esta fase de la investigación se realizó un diagnóstico agroeconómico con ayuda del administrador de la finca y los técnicos encargados del manejo agronómico de las plantaciones, se hizo un recorrido de campo para identificar los lotes de producción, variedades de cafetos y sistema de producción. Luego se confrontó toda la información recabada y se identificaron los TUT actuales.

### **2.2.1.3. Determinación de las cualidades de tierra y atributos relevantes al cultivo café de secano.**

Se considera que una cualidad es relevante para la evaluación de tierras sólo si reúne los siguientes criterios: tiene un efecto importante sobre el uso de la tierra, presenta valores críticos en la región evaluada y la información para su evaluación existe o puede ser obtenida en forma práctica (FAO, 1985). Por tanto, para determinar las cualidades de la tierra se consideraron los siguientes criterios:

- Efecto de la cualidad sobre el uso de la tierra.
- Existencia de valores críticos en la zona.
- No es posible obtener datos sobre la cualidad en forma práctica.

De tal manera, que internalizando todas las especificaciones anteriormente expuestas se procedió a definir las cualidades de la tierra pertinentes al uso actual, a partir de la siguiente información propuesta por la FAO (1985) (Tabla 4).

**Tabla 4. Cualidades de la tierra para la agricultura de secano (FAO, 1985)**

N°	CUALIDAD DE LA TIERRA
CT1	Radiación solar
CT2	Temperatura
CT3	Humedad disponible
CT4	Oxígeno disponible
CT5	Nutrientes disponibles
CT6	Retención de nutrientes
CT7	Condición de enraizamiento
CT8	Condición para germinación
CT9	Humedad del aire
CT10	Condiciones para maduración
CT11	Riesgo de inundación
CT12	Riesgo climático
CT13	Salinidad
CT14	Toxicidades del suelo
CT15	Plagas y enfermedades
CT16	Capacidad de laboreo
CT17	Posibilidades de mecanización
CT18	Preparación y limpieza de la tierra
CT19	Condiciones de almacenamiento
CT20	Condiciones que afectan cronograma de producción
CT21	Acceso dentro de la unidad de producción
CT22	Tamaño de la unidad de producción
CT23	Ubicación
CT24	Riesgo de erosión
CT25	Riesgo de degradación

Fuente: FAO, 1985.

#### 2.2.1.4. Definición de los requisitos de la tierra para el tipo de utilización de tierra seleccionado.

Luego de determinar las cualidades de la tierra que resultaron con mayor grado de importancia, se establecieron factores de diagnósticos para evaluar cada una de las cualidades seleccionadas por punto de muestreo. Posteriormente, se elaboró para el TUT actual un modelo de evaluación para cada cualidad seleccionada en base a una calificación por factores en función de cuatro clases de aptitud: sumamente apta (a1), moderadamente apta (a2), marginalmente apta (a3) y no apta (n).

Con esta calificación se definieron los rangos de valores limitantes para las cualidades de la tierra, en los diferentes tipos de utilización de la tierra actuales identificados en el área de estudio (Tabla 5).

**Tabla 5. Requisitos de la tierra por cualidad de tierra.**

Cualidad N°	Requisito de la tierra	Valor limitativo del requisito para el TUT respectivo			
		a1	a2	a3	N
CT3	Precipitación media anual (mm)				
CT5	pH del suelo				
CT6	Textura del suelo				
CT7	Profundidad efectiva (cm)				
	Pedregosidad (%)				
CT24	Pendiente (%)				

Fuente: FAO, 1985.

### 2.2.1.5. Establecer un proceso de armonización confrontando las cualidades de tierra vs. las unidades de evaluación.

El proceso de armonización consistió en confrontar las ofertas de la unidad de tierra con las demandas de los requerimientos de uso y como resultado surgen las aptitudes de tierra (FAO, 1985).

Antes de realizar el proceso de armonización se establecieron las reglas de decisión que permiten efectuar la evaluación de la aptitud final por unidad de tierra (UT). Para ello se adoptó el siguiente esquema evaluativo citado y modificado por Delgado (2010) y establecido por la FAO (1985). A continuación se presentará el esquema evaluativo en la tabla 6.

**Tabla 6. Esquema evaluativo de la aptitud final de la tierra**

Valor de la aptitud (puntos)		Calificación de la aptitud de la tierra, para el uso evaluado
Mayor a 20		a1
10 – 20		a2
1 – 10		a3
0		N
Valor de las cualidades		
a1		3 puntos
a2		2 puntos
a3		1 punto
N		0 puntos
Obtención del valor de la aptitud:		
Puntos = (r) * (CT3+CT5+CT6+CT7+CT2)		
<b>R</b>	0	Si existe 1 ó más cualidades de la tierra (CT) evaluadas como <b>n</b>
<b>R</b>	1	Si no existen cualidades de la tierra (CT) evaluadas como <b>n</b>

Luego de obtener la calificación de la aptitud de la tierra para cada unidad de tierra (UT), se ejecutó el proceso de armonización, se realizó una valoración global de las cualidades relevantes, confrontando las ofertas de la tierra vs. las demandas del uso actual determinado (Tabla 7).

**Tabla 7. Proceso de armonización.**

Unidad de tierra	Cualidad de la tierra									Aptitud final
	CT3	CT5	CT6	CT7	CT13	CT18	CT21	CT23	CT25	
UT001										
UT002										
UT003										

Fuente: FAO, 1985.

#### **2.2.1.6. Elaboración del mapa de aptitud física de la tierra para el cultivo de café, mediante un sistema de información geográfico.**

Al concluir el proceso de armonización se procedió a la producción de mapas para cada cualidad de tierra (CT). Tomando en cuenta la calificación por factores (rangos de aptitud) para cada uno de ellos y luego se elaboró el mapa de aptitud de uso de la tierra para cada unidad de tierra (UT).

Para el diseño de los mapas de las cualidades de tierra del TUT actual se utilizó el programa ArcGIS 9.0. , se implementó el método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) del modelo Spatial Analyst del ArcGIS 9.0, para superponer los mapas de requisitos de uso de cada TUT sobre el mapa de unidad de tierra UT. De esta manera se logró obtener la calificación de aptitud final por Unidad de Tierra y generar el mapa de zonas aptas para el cultivo café en la UPS“Argimiro Gabaldón” parroquia Mosquey, municipio Boconó, estado Trujillo.

**2.2.2. Determinar las unidades de aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), a través de la aplicación de paquetes estadísticos en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.**

Los datos que se obtendrán de cada variable evaluada por punto de muestreo se someterán a un análisis discriminante con el propósito de identificar las características que diferencian a las unidades de tierra de la UPS “Argimiro Gabaldón” y poder establecer una función capaz de distinguir con la mayor precisión posible los puntos de muestreo de cada unidad. Además permitirá identificar las variables determinantes y de mayor ponderación para lograr clasificar correctamente la aptitud física de los suelos de la UPS “Argimiro Gabaldón”. Los estadísticos que se aplicarán para el logro de este objetivo son los siguientes:

- Grado de dispersión de las variables.
- Autovalores.
- Lambda de Wilks.
- Centroides en las funciones discriminantes.
- Matriz de coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas.
- Matriz de estructura.
- Matriz de confusión y resultados de clasificación.
- Diagrama de dispersión de las tres unidades de tierra en las dos funciones discriminantes.

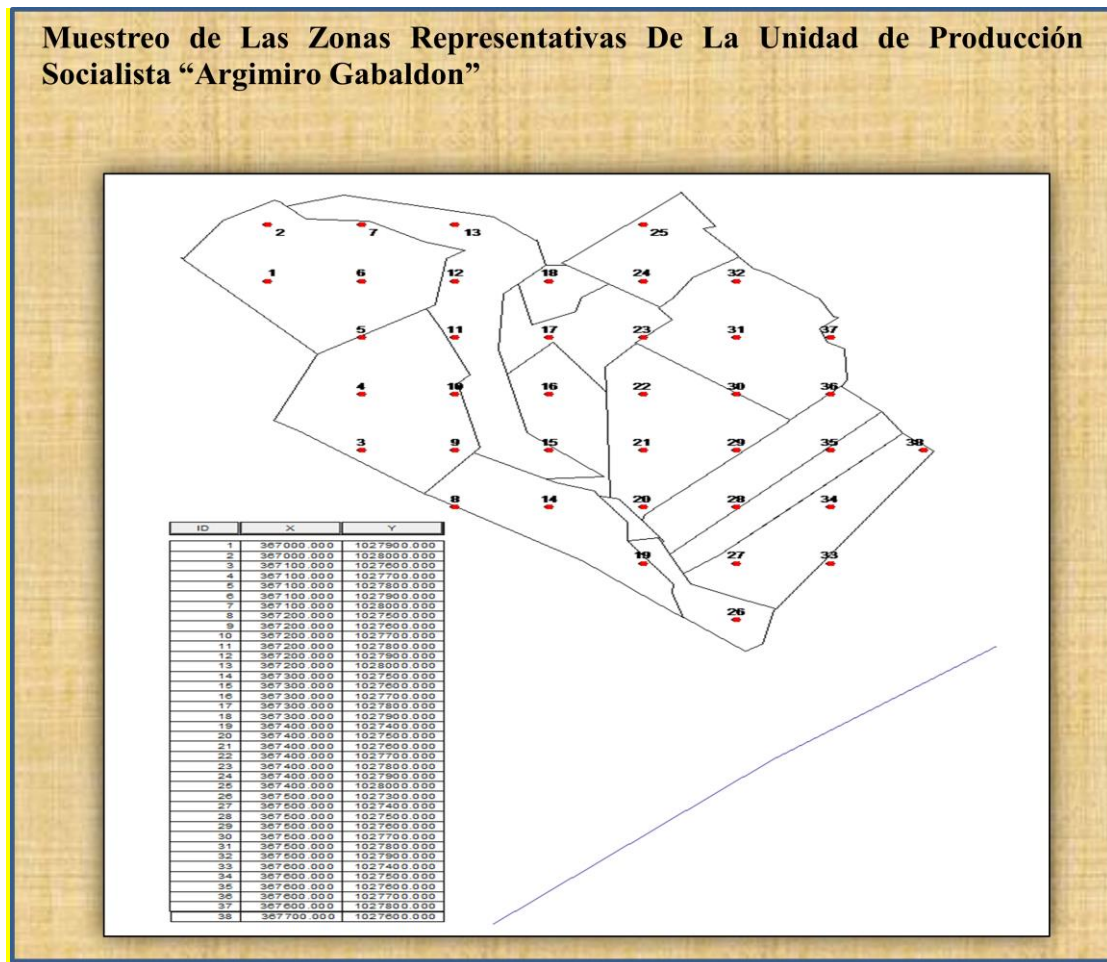
## **CAPITULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

**3.1. Determinar la aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), mediante la metodología para la evaluación de tierras para agricultura en secano de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.**

**3.1.1. Levantamiento de la información de los suelos a través del método de la grilla en el área de estudio, con la utilización de un sistema de información geográfico (ArcGIS 9.0).**

Se opta por el método de la grilla debido a la exactitud que presenta en la distribución de los puntos de muestreos, es más fácil de obtener la muestra, ninguna sucesión grande de elementos de la lista queda sin representación, a causa de esto en ocasiones el muestreo sistemático puede ser más representativo que muestreo aleatorio simple. En la práctica es más sencillo llevarlo a cabo y por lo tanto está menos expuesto a los errores de selección que se cometen a menudo en campo por parte de los investigadores y además, se pudo muestrear de manera sistemática a intervalos regulares.

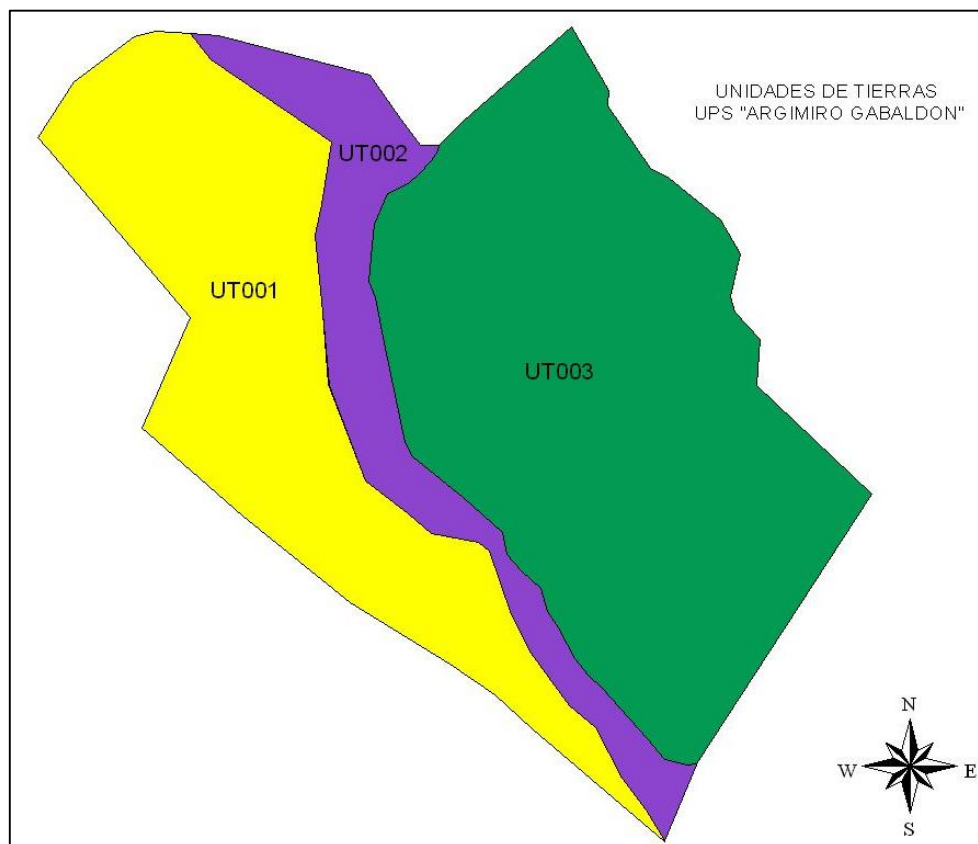
A través, de los diferentes artificios de superposición que brinda el software ARG GIS 9.0, utilizando imágenes satelitales y la poligonal del área de estudio se obtuvo el mapa de puntos de muestreo de la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”. El muestreo consistió en subdividir sistemáticamente el área total en celdas de (100 x 100 m.) lo cual equivale, que cada punto de muestreo es representativo de 1 ha en el terreno, y a partir de este procedimiento se obtuvo un levantamiento detallado con una representación de 38 puntos de muestreo en un área total 36,94 ha. de tal manera, poder describir la variabilidad de los parámetros a evaluar (Fig. 4).



**Figura 4. Distribución de puntos de muestreo**

### **3.1.2. Selección y caracterización de los tipos de utilización de tierras (TUT) actuales para cada unidad de tierra (UT) en el área de estudio.**

Las unidades de tierra se definieron a partir de la información cartográfica del área de estudio (factores físico - naturales), en este procedimiento se utilizó una imagen de satélite obtenida en el software Google Earth 5.2.1.1588, para determinar las unidades de tierra por posición fisiográfica del lugar y se realizó un chequeo de campo para corroborar esta información. Luego se trabajó con el software ARG GIS 9.0, creando una nueva capa temática denominada “Unidades de tierra” (Fig. 5).



**Figura 5. Unidades de Tierra de la UPS “Argimiro Gabaldón”.**

En el área de estudio resultaron tres unidades de tierra, lo cual contrasta con la revisión de las unidades de suelo provenientes de los estudios poco detallados (Preliminares o Gran Visión), por tanto, estos estudios no permiten la separación adecuada de unidades de tierra. Las identificadas como UT001, UT002 Y UT003. Las unidades UT001 Y UT003, presentan características similares en cuanto a la pendiente y textura. Sin embargo, la unidad UT002, a pesar de ser la unidad más pequeña, es el talud de la unidad UT001, presenta altas pendientes y poca profundidad de los suelos. Es importante destacar que en el manejo agronómico de la unidad UT002 se deben incorporar prácticas de conservación de suelos y aguas por presentar altas pendientes.

Posteriormente, se procedió a identificar y seleccionar los tipos de utilización de la tierra, lo cual consiste en una clase de uso de la tierra definida más

detalladamente, de acuerdo con una serie de especificaciones técnicas, en un determinado espacio físico, económico y social. Es importante destacar que la FAO (1985) considera que el uso de la tierra es tan determinante para la definición de la aptitud como la tierra misma, considerando al tipo de utilización de la tierra como el sujeto y a la tierra como el objeto de evaluación.

A través de un diagnóstico agroeconómico realizado con el administrador de la finca y los técnicos encargados del manejo agronómico de las plantaciones, previo a un recorrido de campo donde se identificaron los lotes de producción, variedades de cafetos, sistemas de producción, prácticas establecidas y patrones culturales. Se identificó que el tipo de utilización de la tierra actual (TUT act) es “**Café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo**”, este TUT fue identificado en las tres unidades de tierra existentes en el área de estudio (Tabla 8).

**Tabla 8. Unidades de tierra y tipo de utilización de tierra de la UPS “Argimiro Gabaldón”**

Unidades De Tierra (Ut) De La Ups “Argimiro Gabaldón”	Tipo De Utilización De La Tierra (Tut) Actual	Puntos De Muestreo
UT 001	Café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo	UPS 001
		UPS 002
		UPS 003
		UPS 004
		UPS 005
		UPS 006
		UPS 007
		UPS 008
		UPS 009
		UPS 014
UT 002	Café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo	UPS 019
		UPS 010
		UPS 011
		UPS 012
		UPS 013
UT 003	Café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo	UPS 026
		UPS 015
		UPS 016
		UPS 018
		UPS 020
		UPS 021
		UPS 022
		UPS 023
		UPS 024
		UPS 025
		UPS 027
		UPS 028
		UPS 029
		UPS 030
		UPS 031
		UPS 032
		UPS 033
		UPS 034
		UPS 035
UPS 036		
UPS 037		
UPS 038		

### **3.1.3. Determinación de las cualidades de tierra y atributos relevantes al cultivo café de seco.**

En función de los criterios propuestos por la FAO (1985) para la agricultura de seco, las cualidades de la tierra pueden ser clasificadas de la siguiente manera: (1) muy importantes: cuando existe un efecto directo de la cualidades sobre el tipo de uso evaluado. (2) Moderadamente importantes: existencia de valores críticos para el cultivo. (3) No importantes: Cuando la cualidad de la tierra no afecta al TUT, no existen valores críticos en la zona estudiada o no es posible obtener datos sobre la cualidad en forma práctica.

Luego de aplicar estos criterios, se seleccionaron seis (6) cualidades de la tierra (CT) que se consideran importantes dentro del área de estudio, ya que presentan limitaciones para el desarrollo óptimo del cultivo café y repercute en los niveles de producción. Las cualidades determinadas para el TUT actual “Café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo”, fueron las siguientes:

- Humedad disponible.
- Disponibilidad de nutrientes
- Retención de nutrientes
- Condiciones de enraizamiento
- Toxicidad del suelo
- Riesgo de erosión

En la tabla 9, se presentan los criterios utilizados para la selección de las cualidades más relevantes.

**Tabla 9. Selección de las cualidades de tierra para el TUT “Café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo” (FAO, 1985).**

	<b>Cualidad</b>	<b>Efecto sobre el Uso de la Tierra</b>	<b>Existencia de Valores Críticos</b>	<b>Información</b>	<b>Importancia</b>
CT1	Radiación solar	I	R	NA	3
CT2	Temperatura	I	R	O	2
CT3	Humedad disponible*	I	F	O	1
CT4	Oxígeno disponible	I	R	NA	3
CT5	Nutrientes disponibles*	I	F	O	1
CT6	Retención de nutrientes*	I	F	O	1
CT7	Condición de enraizamiento*	I	F	O	1
CT8	Condición para germinación	I	F	NA	3
CT9	Humedad del aire	I	R	NA	3
CT10	Condiciones para maduración	NA	R	NA	3
CT11	Riesgo de inundación	NA	R	NA	3
CT12	Riesgo climático	NA	R	NA	3
CT13	Salinidad	NA	R	NA	3
CT14	Toxicidades del suelo*	I	F	O	1
CT15	Plagas y enfermedades	I	F	NA	2
CT16	Capacidad de laboreo	NA	R	NA	3
CT17	Posibilidades de mecanización	NA	R	NA	3
CT18	Preparación y limpieza de la	I	R	NA	3
CT19	Condiciones de	NA	R	O	2
CT20	Condiciones que afectan	NA	R	O	2
CT21	Acceso dentro de la unidad de	NA	R	O	2
CT22	Tamaño de la unidad de	I	R	O	2
CT23	Ubicación	I	R	O	2
CT24	Riesgo de erosión*	I	F	O	1
CT25	Riesgo de degradación	I	F	NA	3

Fuente: FAO, 1985. I: Influye; NA: No aplica; R: Raro o poco frecuente; F: Frecuente; O: Obtenible; 1= Muy Importante 2= Moderadamente Importante 3= No Importante  
 \*= Cualidades de tierra determinadas para la investigación.

A continuación se describen los factores diagnósticos escogidos para valorar cada una de las cualidades seleccionadas y que sirvieron de base para la evaluación (Tabla 10).

**Tabla 10. Factores de diagnóstico asociados a las cualidades de la tierra para la agricultura de secano (FAO, 1985)**

N°	Cualidad de la Tierra	Factor de Diagnóstico que Determina la Calidad
CT3	Humedad Disponible	Precipitación media anual (mm) durante la temporada de crecimiento del cultivo
CT5	Disponibilidad de Nutrientes	pH (Reacción del Suelo)
CT6	Retención de Nutrientes	Textura del suelo
CT7	Condición de enraizamiento	Profundidad efectiva del suelo (cm)
		Pedregosidad en el perfil del suelo (%)
CT14	Toxicidad del suelo	Al <sup>3+</sup> Intercambiable (cmol/kg)
CT24	Riesgo de erosión	Pendiente (%)

Fuente: FAO, 1985.

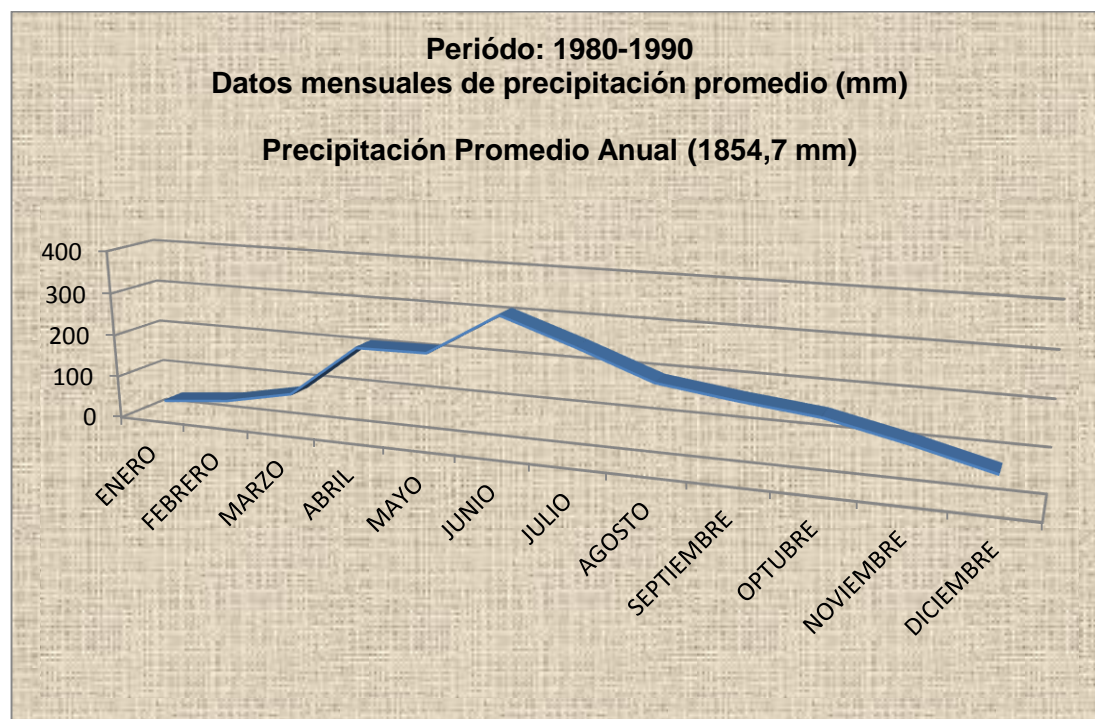
Los factores de diagnóstico de pH, textura y aluminio intercambiable se determinaron en el laboratorio de suelos de la UNELLEZ – Guanare (Anexo 1).

3.1.1.1. **CT3 Humedad disponible:** Como factor diagnóstico se utilizó la humedad total por considerarse una cualidad de mayor importancia para el TUT relevantes de la zona de estudio. Este factor diagnóstico se expresó mediante el valor de la precipitación media (mm) durante el año o durante el ciclo del cultivo. Los registros de la variables fueron tomados de la estación meteorológica Hacienda San Giusto (Serial 7142) a 1.499 msnm (Tabla 11), para un período de registro de 10 años (1980 - 1990), el clima presenta un régimen unimodal con tres meses secos (enero, febrero y marzo) y nueve húmedos (Figura 6) (Velásquez, 2006). Esta estación se encuentra ubicada dentro del área de estudio, registra una precipitación promedio anual de 1.854,7 mm., representando una zona altamente apta para el cultivo café. Los promedios máximos mensuales los presenta el mes de junio.

**Tabla 11. Precipitación anual promedio en Hacienda San Giusto.**

Estación	Serial	Ubicación		Elevación (m.s.n.m.)	tipo	Periodo Reg.	Prec. Anual (mm.)	Temp. Media (° C)
		Lat	Long					
Hacienda San Giusto	7142	09° 17'49''	70° 12'43''	1.499	C2	1980-1990	1.854,7	18,5

Fuente: MARNR. Fecha: 1980 – 1990.



**Figura 6. Precipitación promedio mensual y anual. Estación San Guiusto - Boconó.**

3.1.1.2. **CT5 Nutrientes disponibles:** Dentro de las propiedades del suelo que influyen en la disponibilidad de nutrientes, se encuentra la reacción del suelo. Bernier, et al, (2006) indica que las plantas tienen un rango de pH de suelo que es óptimo para su crecimiento, de manera que si este baja a rangos distintos del óptimo, la planta no puede desarrollar un sistema radicular normalmente, reduciendo la absorción de agua y nutrientes y por tanto, el rendimiento y el crecimiento del cultivo.

La disponibilidad de nutrientes es más alto en valores de pH 6,0 - 7,5 y es reducida tanto en los valores altos como en los bajos. Sin embargo, es importante resaltar la observación de tolerancia de altos niveles de acidez que presenta el cultivo café (García, 1988). Por esta razón se tomó como factor diagnóstico la reacción del suelo (pH), y resultó que el 86,11 % del área es altamente apto para el TUT actual “Café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo”, presentando valores entre 4 a 6,6 unidades de pH (Fig. 7).

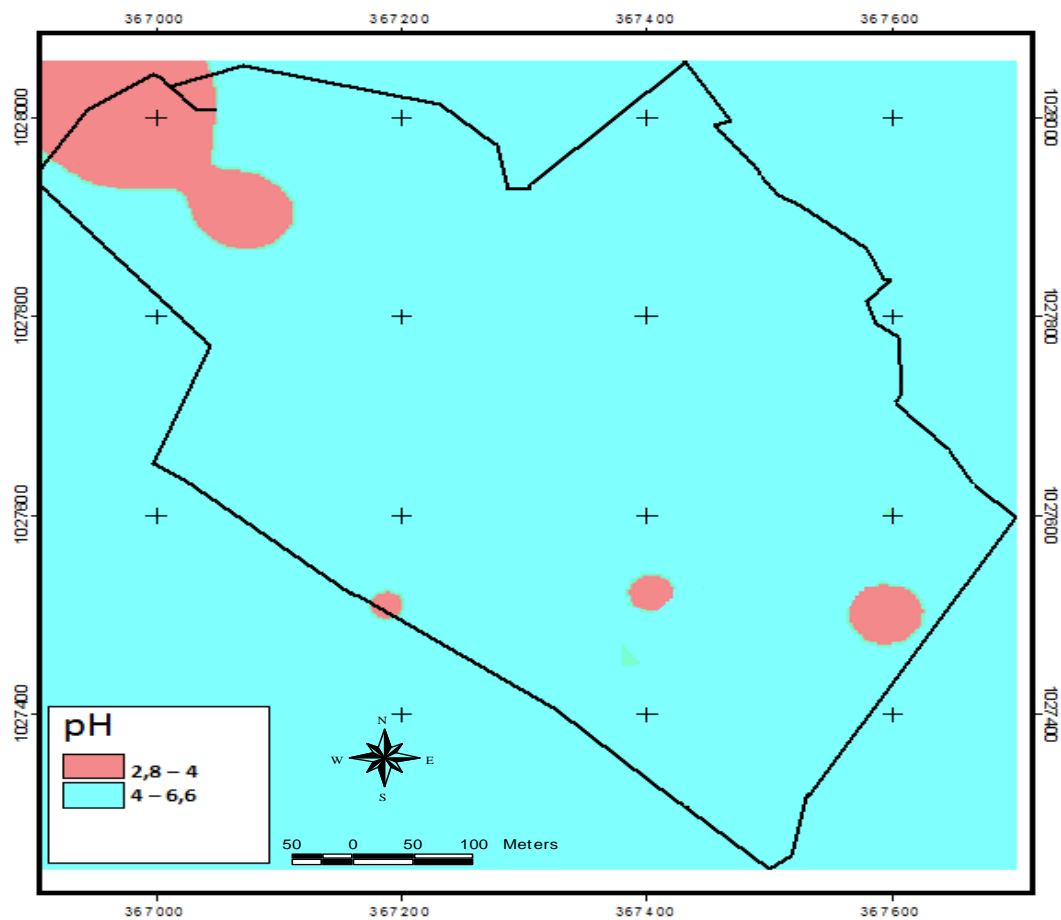
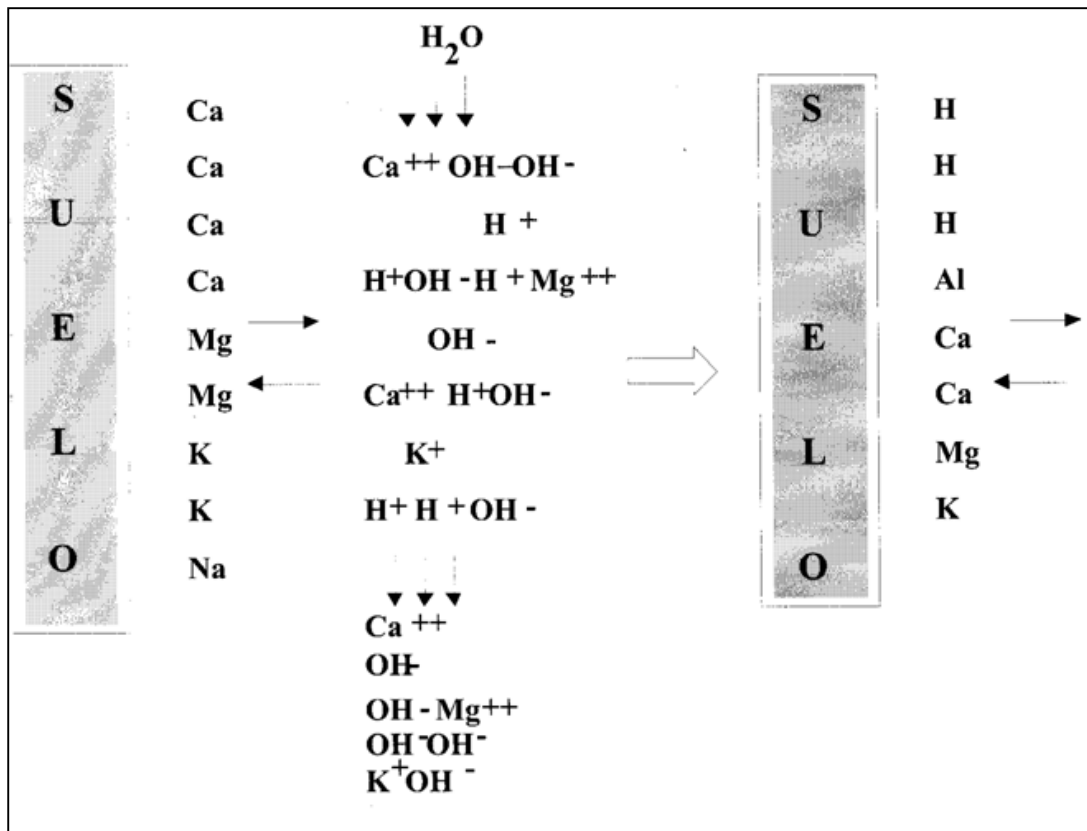


Figura 7. pH del suelo en la UPS “Argimiro Gabaldón”.

Los valores bajos de acidez en la zona se le pueden atribuir de manera natural a las altas precipitaciones y altos contenidos de materia orgánica y otra parte al manejo de las fertilizaciones.

En la zona se registran altas precipitaciones (1854,7 mm/año), éstas provocan una lixiviación de cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) del suelo (Figura 8).

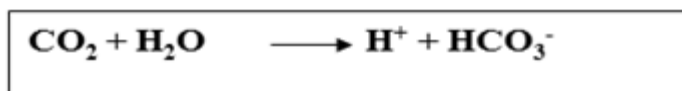


Fuente: Bernier, R. 2006.

**Figura 8. Esquema de la Lixiviación de los cationes de intercambio.**

El agua que pasa a través de los poros del suelo arrastra a los cationes de intercambio, especialmente a los que se encuentran menos fuerte ligados a las arcillas (potasio y sodio), dejando lugar a cationes de mayor fuerza iónica como el aluminio y el hidrógeno.

Además los altos contenidos de materia orgánica en el suelo para la zona determinados por Montilla (2012), se descomponen produciendo anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>), que fácilmente se transforman en bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), de acuerdo a la siguiente reacción (Figura 9), aportando hidrógeno que disminuye el pH del suelo, incrementando su acidez.

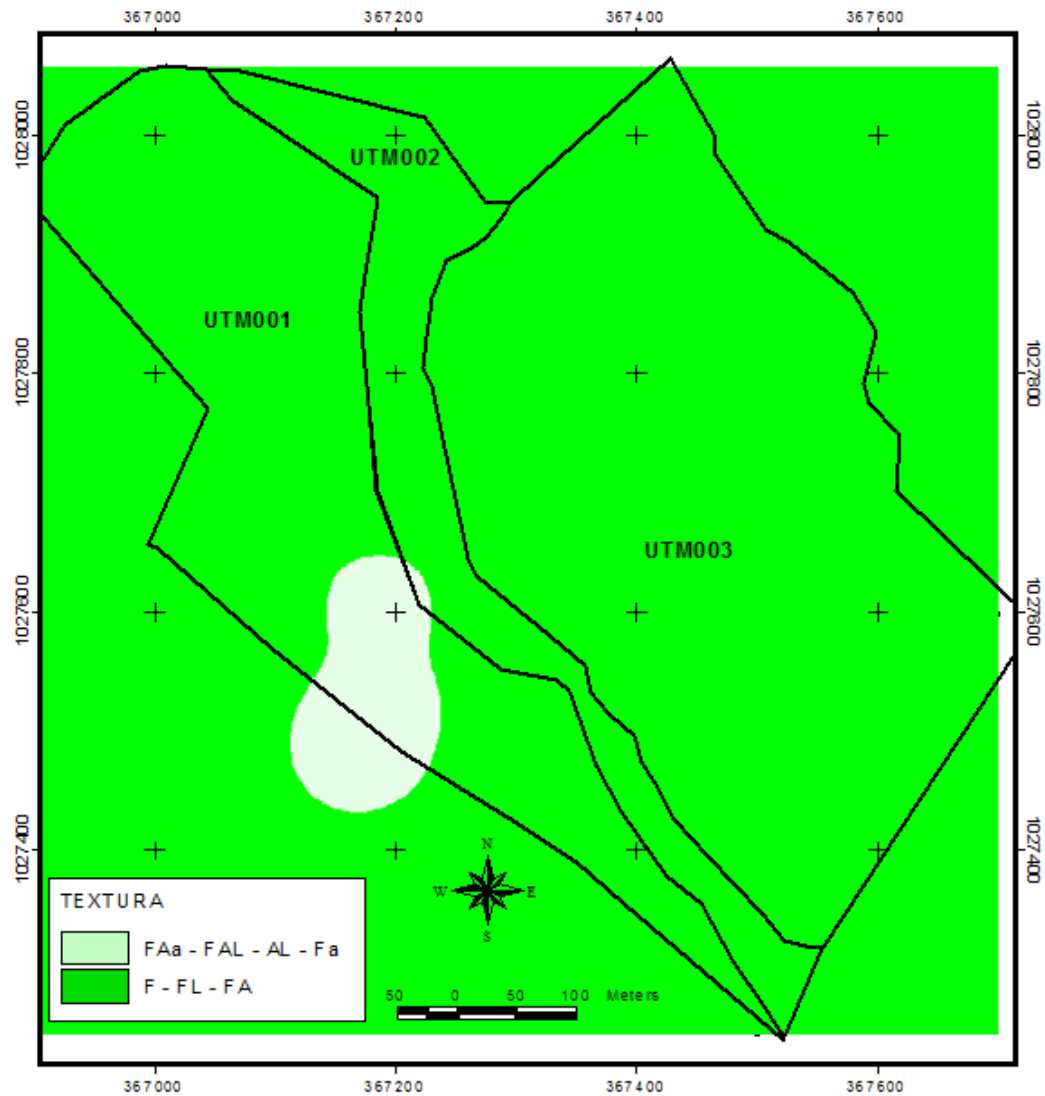


Fuente: Bravo, 2000.

**Figura 9. Reacción de transformación del anhídrido carbónico en el suelo.**

3.1.1.3. **CT6 Retención de nutrientes:** Esta cualidad que expresa la capacidad del suelo para retener nutrimentos añadidos, o lo contrario a las pérdidas por lixiviación, fue considerada pertinente en la zona de estudio. Al evaluar esta cualidad se consideró como factor diagnóstico el efecto que tienen las diferentes clases textuales de las unidades de tierra sobre la retención de nutrimentos, por lo que se estimó una textura ponderada de cada punto de muestreo de suelo.

La textura de un suelo se refiere a la proporción en que se encuentran las partículas (arena, limo y arcilla), constituyendo una característica estable que permite clasificarlos y planificar su utilización. Los suelos con características extremas: muy arcillosos o muy arenosos no son recomendables para el café. Los suelos adecuados son aquellos que tienden a una textura franca, que permita una estructuración granular y la formación de suficiente espacio poroso (FONAIAP, 1988). Para la evaluación de este factor se procedió a tomar una muestra de suelo de 0 a 30 cm, luego se envió a laboratorio para realizarle un análisis de composición mecánica y se determinaron las clases textuales. Los resultados muestran que el 91,6 % del área se encuentra entre las clases textuales de F, FL y FA. En general, el área de estudio presenta una textura altamente apta para el TUT actual “Café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo” (Fig. 10).



**Figura 10. Clases Texturales de los suelos en la UPS “Argimiro Gabaldón”.**

3.1.1.4. **CT7 Condición de enraizamiento:** En la evaluación de esta cualidad se utilizó como factor diagnóstico la profundidad efectiva (cm) y pedregosidad interna del suelo (%), por las limitaciones que presenta la zona de estudio en cuanto a estas variables.

### 3.1.1.4.1. Profundidad efectiva

En líneas generales, el cafeto requiere de suelos con una profundidad efectiva mayor de 80 cm, que permita el normal desarrollo y crecimiento de las raíces. A medida que esta profundidad disminuye las plantas no logran el anclaje suficiente, son muy susceptibles al volcamiento por acción del viento (FONAIAP, 1988). La profundidad efectiva se determinó a través de los hoyos de observación y el barrenado, se evaluó por medio de las categorías propuestas por INICA (2008) que se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12. Categorías de evaluación de la profundidad efectiva.**

Código	PE (cm)	Categoría
1	> 80	Profundo
2	80-50	Medianamente profundo
3	50-30	Poco profundo
4	< 30	Muy poco profundo

Fuente: I Congreso Venezolano del Café (1995) y Sys *et al.* (1993) citado por Aular (2006).

Se toma en cuenta como elemento fundamental el factor limitante profundidad efectiva a la hora de determinar los agrupamientos con posibles condiciones para efectuar la zonificación y obtener potenciales óptimos.

Se puede observar que las profundidades menores de 30 cm, no son adecuadas para el cultivo debido a que no permite el desarrollo de sus raíces que son profundas y ramificadas y a la misma vez estas no pueden tomar los nutrientes indispensables. De este mismo modo la capacidad retención de humedad no es la más factible en el suelo lo que puede afectar al cafeto, también se afectaría la aireación del suelo.

El 29,73 % del área total se encuentra con profundidades mayores a los 50 cm, presentan niveles de erosión bajo lo que permite la permanencia de la fertilidad del suelo y a su vez la profundidad no sea afectada por la escorrentía ni el intemperismo, esto hace que exista una correlación directa con el contenido de materia orgánica que presentan estos suelos que van desde valores medios hasta altos, permitiendo en estos casos menor aplicación de fertilizantes químicos.

Sin embargo, es importante destacar que aproximadamente el 62% del área presenta un rango de profundidad entre 30 y 50 cm. Esta área se encuentra ubicada en su mayoría en la unidad de Tierra UT003, con características de pendiente menores de 30% (Fig. 11). Además se observó en campo que la mayor cantidad de raíces activas del cafeto se encuentra muy cerca de la superficie del suelo, en los primeros 10 cm de profundidad, y se extiende entre 1 y 1,5 m desde el tronco. En los primeros 30 cm de profundidad se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del cafeto (Fig. 12). Esto significa que la planta necesita buena disponibilidad de agua y nutrientes a esta profundidad del suelo, por lo que se explica además, la efectividad de la fertilización al voleo.

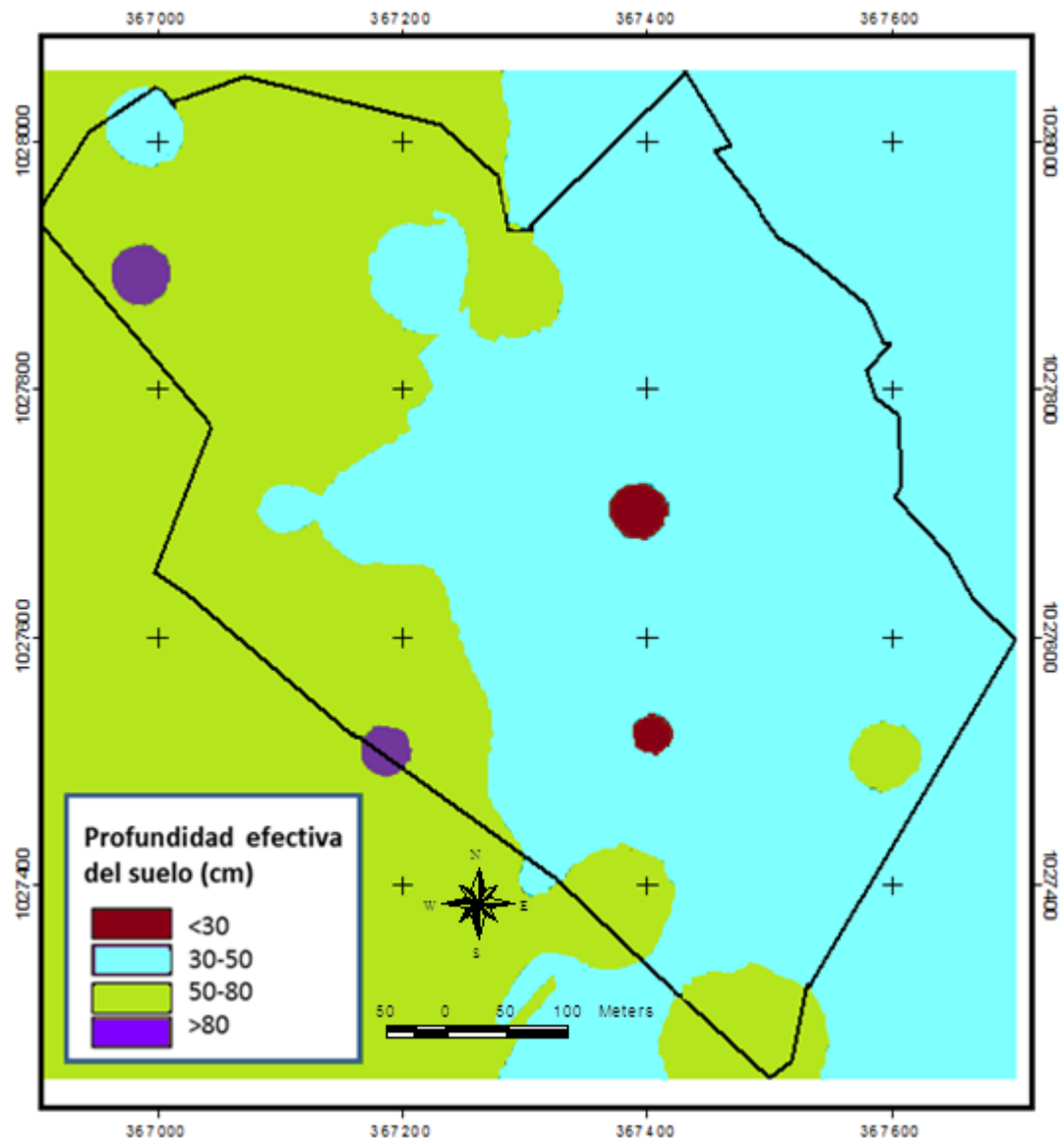


Figura 11. Profundidad efectiva de los suelos en la UPS “Argimiro Gabaldón”.



**Figura 12. Distribución de raíces en los suelos de la UPS “Argimiro Gabaldón”**

#### **3.1.1.4.2. Pedregosidad en el perfil.**

La pedregosidad en el perfil del suelo está dada por la presencia de fragmentos de roca o “piedras” con diámetro, equivalente, igual o mayor que 2,5 cm. El término “piedra” se refiere a un rango de tamaño particular, cuyas medidas límites dependen del sistema de clasificación usado. Por ejemplo: piedra se refiere a fragmentos de roca de 75 a 250 mm en la clasificación FAO, de 2 a 600 mm en la clasificación Británica y de 250 a 600 mm en la clasificación Norteamericana; razón por la cual algunos autores prefieren utilizar el término fragmentos de roca en lugar de piedras cuando se trata de suelos pedregosos (Poesen y Lavee, 1994).

En los puntos de muestreo se determinó el volumen de cada estrato del suelo por el método de excavación, seguidamente se clasificaron los fragmentos de rocas mayores de 2,5 cm por tamizado.

Para la evaluar la pedregosidad volumétrica en campo se tomaron muestras de los horizontes de los perfiles de suelo, simultáneamente, se seleccionó un balde totalmente cilíndrico el cual se calibró por el método de enrazado. En cada muestra, se valoró: volumen total de suelo por el método de la excavación (Pla, 1977) y volumen de piedra correspondiente por desplazamiento en agua, discriminado por tamaño de piedra (Fig. 13a, 13b y 13c).

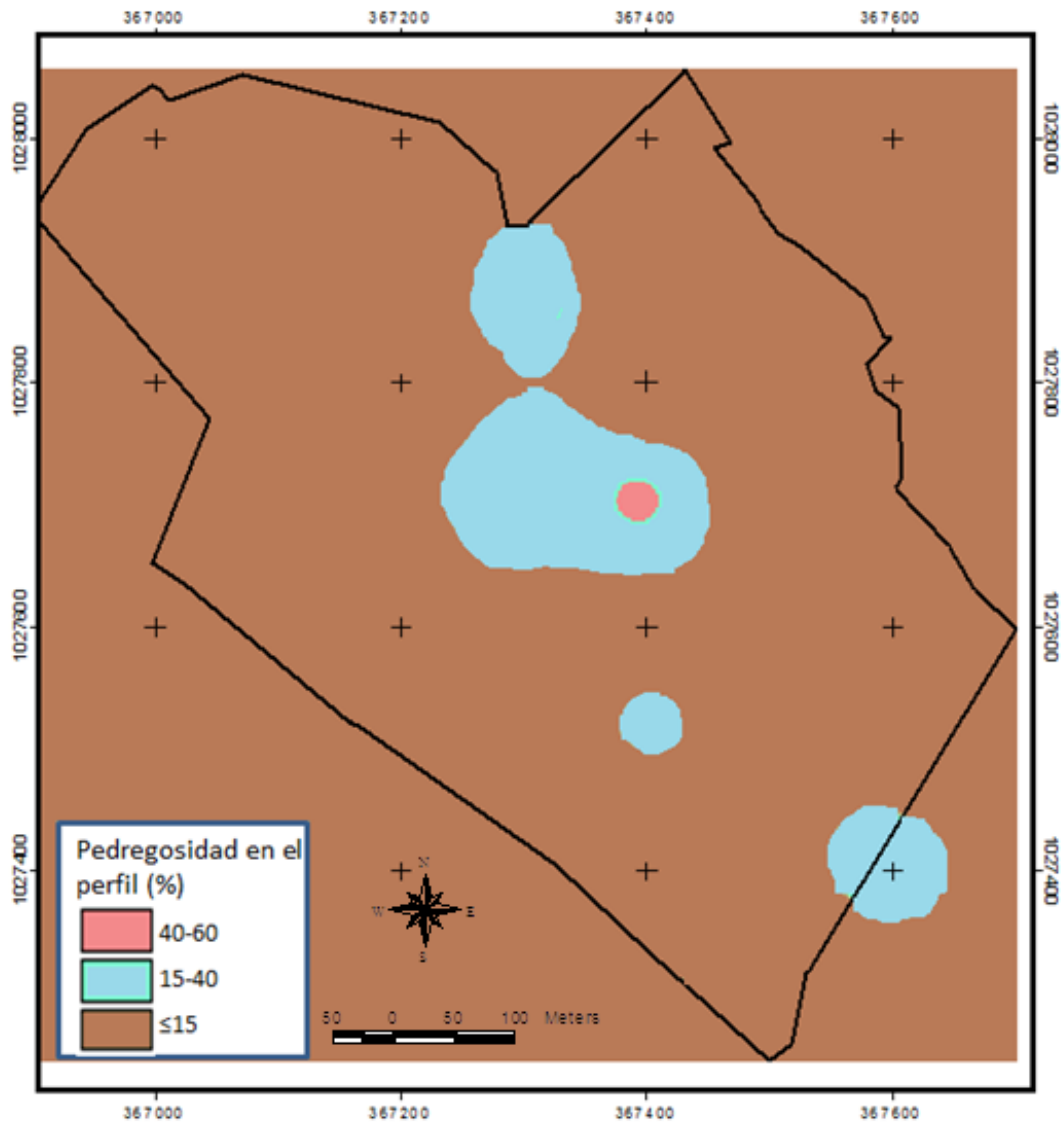


**Figura 13a. Calibración del balde para cuantificar el volumen de piedra.**



**Figura 13b y 13c. Dos vistas sobre la pedregosidad interna en la unidad de tierra UT003.**

En la figura 14, se presenta información referente a los 38 puntos de muestreo de valores (%) de pedregosidad de los 38 perfiles de suelo evaluados, a través de la metodología aplicada. De acuerdo con los datos recabados, los suelos de la UPS “Argimiro Gabaldón” presentan dominancia de la fracción de piedras grandes, cuyo contenido se incrementa con la profundidad. Sin embargo, la pedregosidad aunque alcanza los umbrales críticos (40% volumétrico con tamaño de fragmentos de roca mayor de 25 mm), capaz de impactar negativamente el desarrollo de las raíces de cultivos, sólo representa el 2,71 % del área total. Por otro lado, es importante destacar que el 86,48 % de la superficie se considera como altamente apta para el cultivo, con valores menores al 15% de pedregosidad. En la gran mayoría de los puntos de muestreo donde existían concentraciones moderadas de pedregosidad, esta se encontró a partir de los 25 a 30 cm, excepto en los puntos de muestreo UPS016, 020, 022 y 033 que a partir de los 10 cm se encontraba un manto rocoso.

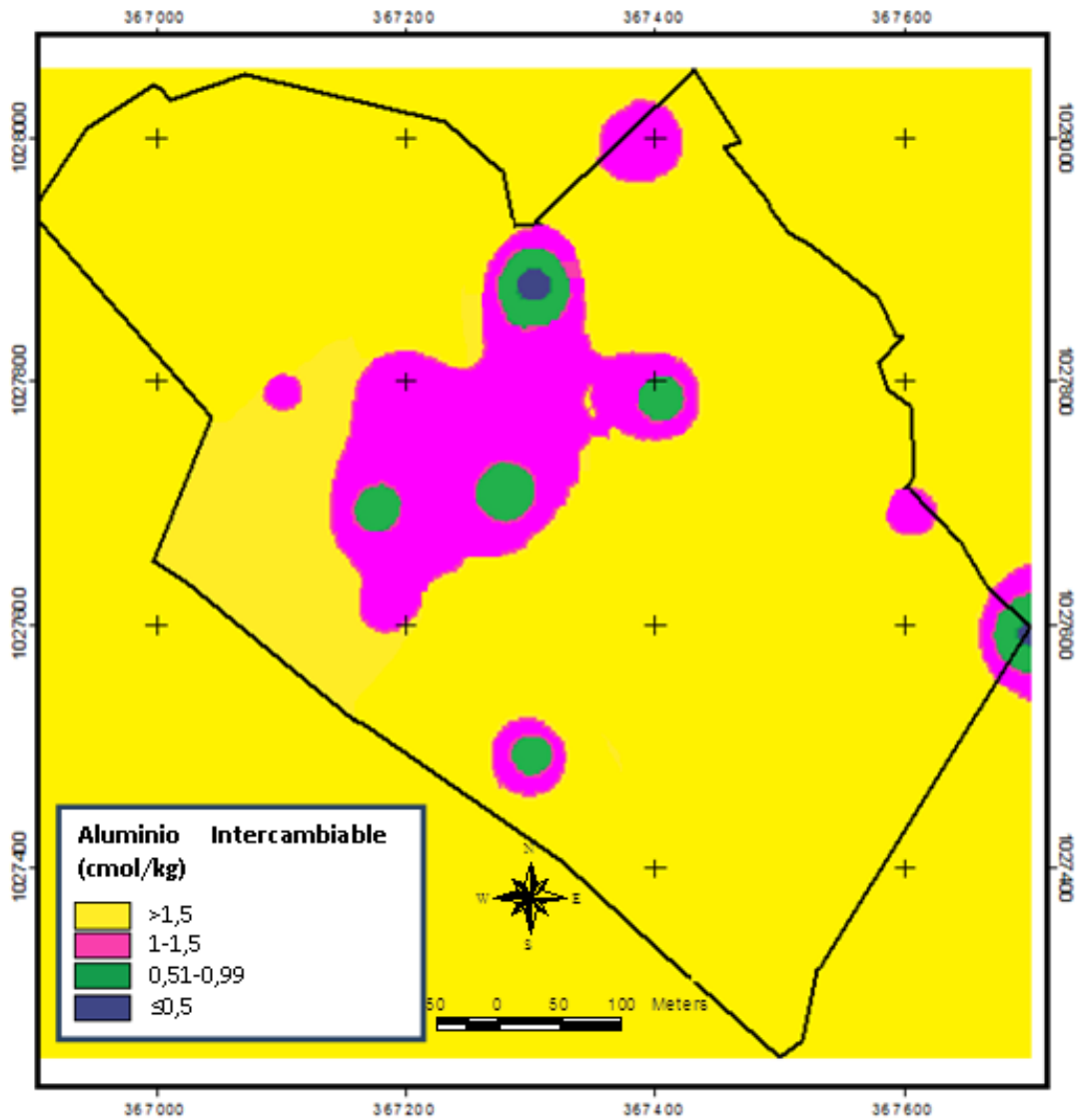


**Figura 14. Pedregosidad en el perfil del suelo en la UPS “Argimiro Gabaldón”.**

3.1.1.5. **CT14 Toxicidad del suelo:** La reacción del suelo es una de las propiedades químicas más importante del mismo; así entre otros, la solubilidad y disponibilidad de muchos de los nutrientes requeridos de las plantas para el óptimo crecimiento están íntimamente relacionadas con el pH y el aluminio intercambiable (Bastardo, et al. s/f).

La acidez del suelo en general se le atribuye a la concentración de hidrógenos en la solución del suelo. Sin embargo, resultados de investigaciones demostraron que el catión dominante, asociado a la acidez, es el aluminio intercambiable, el cual produce efecto nocivo en los cultivos, disminuye la producción, incide en el desarrollo radicular y produce un bloqueo en la absorción del Calcio y Fósforo hacia la parte aérea de la planta (Castillo, *et al.* s/f).

En tal sentido, es importante destacar que el 69,44 % del área de estudio se clasifica no apto, con valores que superan 1,5 cmol/kg. No obstante, es conveniente señalar que el cultivo de café es tolerante a altos niveles de aluminio intercambiable y se debería considerar un estudio detallado de la tolerancia del cultivo para el catión aluminio, a los efectos de tener una clasificación de valores más ajustados a la realidad (Fig. 15).



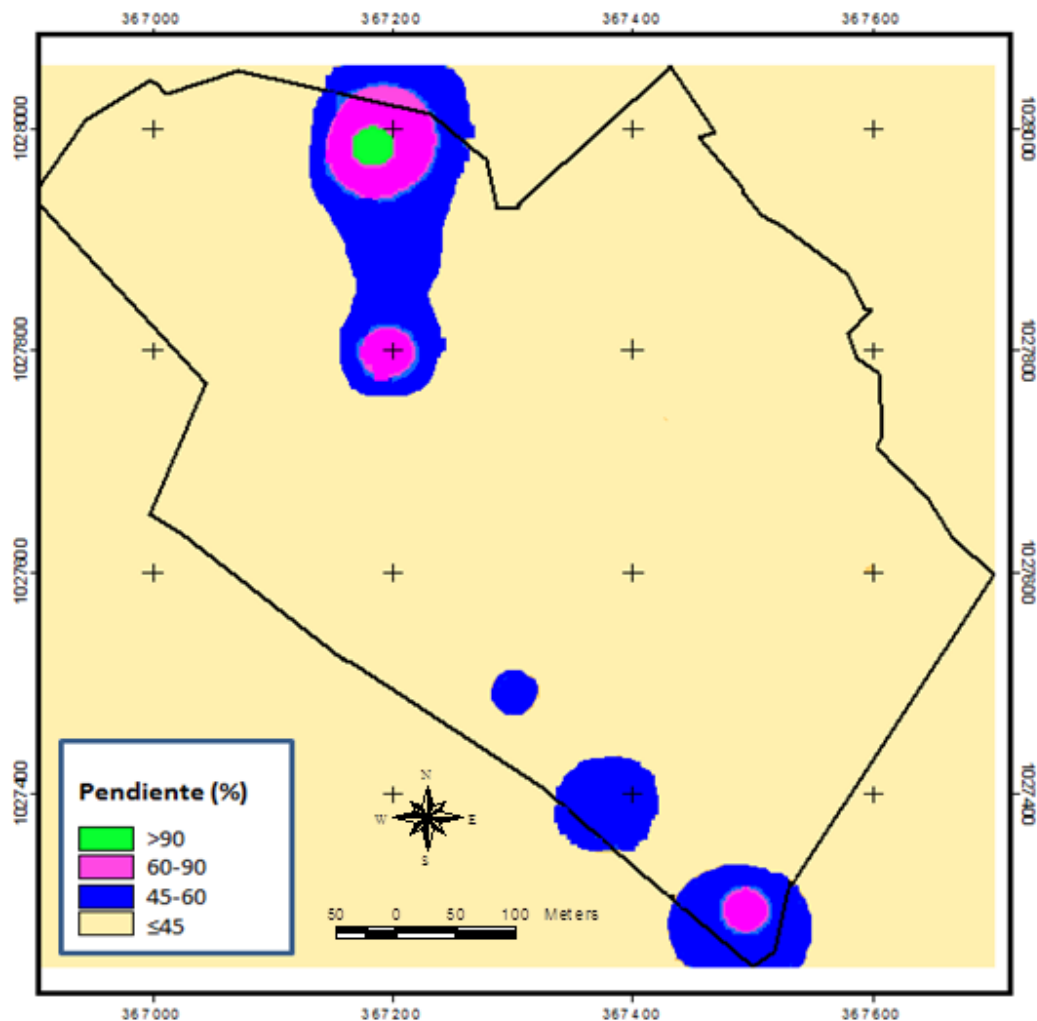
**Figura 15. Aluminio Intercambiable en los suelos de la UPS “Argimiro Gabaldón”.**

3.1.1.6. **CT24 Riesgo de erosión:** Para evaluar el riesgo de erosión por el agua, se consideró como factor diagnóstico la pendiente del terreno (%), debido a que el área de estudio se caracteriza por presentar altas pendientes.

En la medida que ésta es más pronunciada se limitan las labores mecanizadas, lo que afecta la productividad de las mismas y el beneficio económico, por tanto el terreno queda más expuesto a la erosión y conlleva a pérdidas progresivas de su

fertilidad y capacidad productiva. Este parámetro se determinó en campo a través de un clisímetro.

De acuerdo con García (1988), las pendientes favorables para el cultivo son menores de 45%, tales como lomas, laderas que no sean muy inclinadas y hondonadas, sin embargo, existen pocas plantaciones en vegas y valles. En congruencia con lo indicado por García, los resultados muestran que más del 84% del área total es altamente apta para el cultivo café, con valores por debajo de 45% (Fig. 16).



**Figura 16. Pendiente de la UPS "Argimiro Gabaldón"**

### 3.1.4. Requisitos de la tierra para el tipo de utilización de tierra seleccionado.

Debido a que las Cualidades de la Tierra, por definición, no pueden ser medidas directamente en un inventario normal, los niveles de severidad o tasas de factor simple de cada evaluación deben ser inferidas a partir de uno o más características diagnósticas de la tierra o factores de diagnósticos de la tierra (Rossiter, 1994).

Estos factores de diagnósticos se usaron para evaluar las cualidades de la tierra (CT). Ellos fueron medidos en una escala apropiada, y bien relacionados con la CT. En la tabla 13 se presenta el modelo que se elaboró para evaluar los requisitos de uso de la tierra correspondiente al TUT Café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo.

**Tabla 13. Modelo para evaluar las cualidades de la tierra seleccionadas para el TUT Café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo.**

REQUISITO DE LA TIERRA			CALIFICACIÓN POR FACTORES			
Cualidad	Factor Diagnóstico	Unidad	a1	a2	a3	n
CT3 Humedad Disponible	Precipitación anual (P)	mm	$1400 \leq P \leq 2000$	$1000 \leq P < 1400$ $2000 < P \leq 2500$	$800 \leq P < 1000$ $2500 < P \leq 3000$	$P < 800$ $P > 3000$
CT5 Disponibilidad de nutrientes	pH		$4 \leq \text{pH} \leq 6,6$	$2,8 \leq \text{pH} < 4$ $6,6 < \text{pH} \leq 7,4$	$1,6 \leq \text{pH} < 2,8$ $7,4 < \text{pH} \leq 7,8$	$\text{pH} < 1,6$ $\text{pH} > 7,8$
CT6 Retencion de Nutrientes	Textura	Clase	F, FL, FA	FAa, FAL, AL, Fa	aF, Aa, A	a, A(>60%)
CT7 Condicion de Enraizamiento	Profundidad Efectiva (h)	Cm	$h > 80$	$50 \leq h \leq 80$	$30 \leq h < 50$	$h < 30$
	Pedregosidad (pd)	%	$\text{pd} \leq 15$	$15 < \text{pd} \leq 40$	$40 < \text{pd} \leq 60$	$\text{pd} > 60$
CT14 Toxicidad del suelo	Al <sup>3+</sup> Intercambiable	cmol/kg	$\text{Al} \leq 0,5$	$0,51 < \text{Al} \leq 0,99$	$1 < \text{Al} \leq 1,5$	$> 1,5$
CT24 Riesgo de Erosion	Pendiente (p)	%	$p \leq 45$	$45 < p \leq 60$	$60 < p \leq 90$	$p > 90$

Fuente: I Congreso Venezolano del Café (1995) y Sys *et al.* (1993) citado por Aular (2006).

### **3.1.5. Proceso de armonización confrontando las cualidades de tierra vs. las unidades de evaluación.**

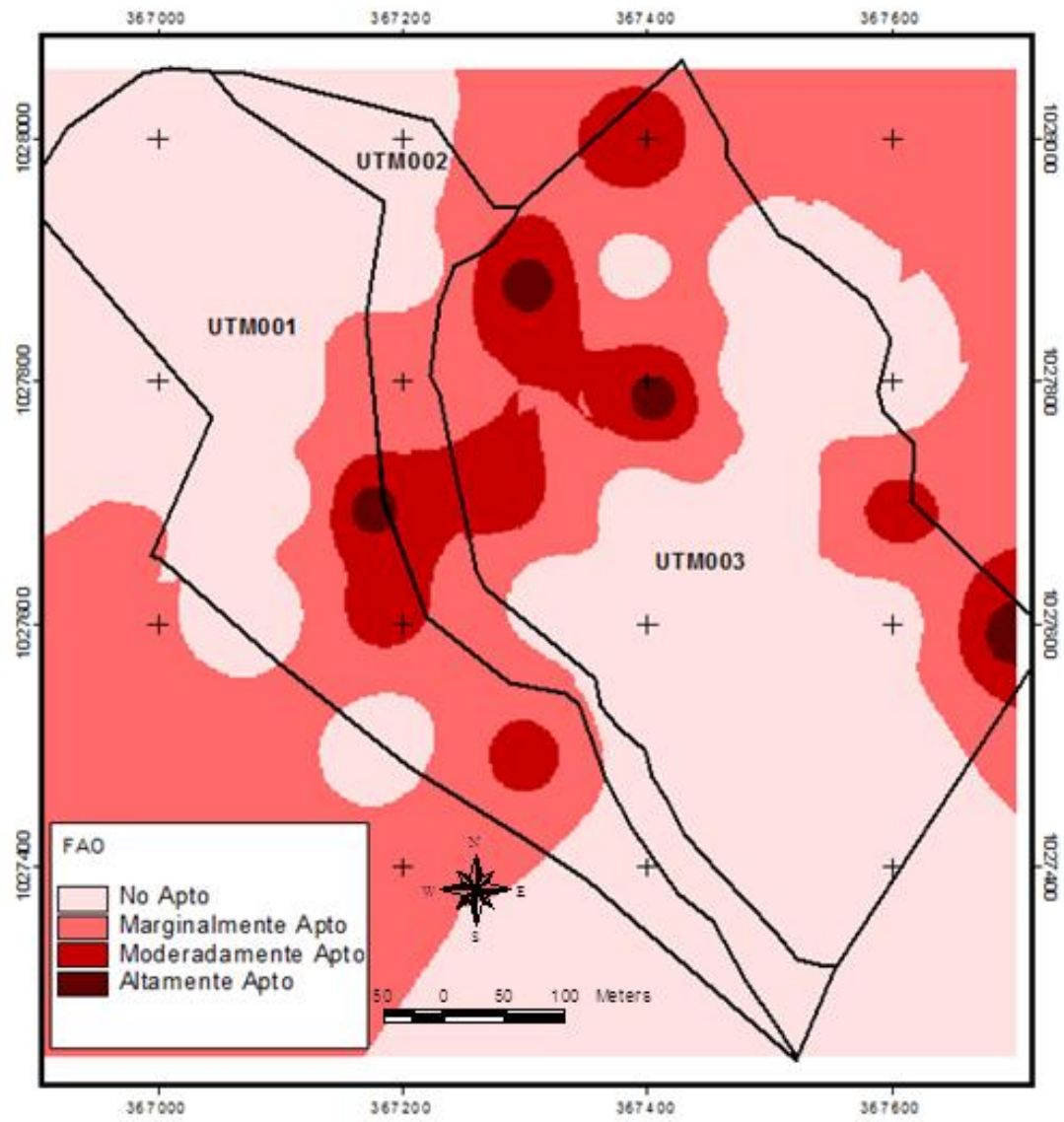
El proceso de armonización consistió en confrontar las ofertas de la unidad de tierra con las demandas de los requerimientos de uso y como resultado surgen las aptitudes de tierra. En la tabla 14, se muestra el resultado de la aptitud final para el TUT actual café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo obtenida para cada unidad de tierra con base a los criterios establecidos por la metodología, que indica que para cada punto de muestreo evaluado, si al menos un variable clasifica como no apta, ese punto se considerará no apto para el cultivo.

En la figura 17, se muestra la aptitud física final para el TUT actual café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo obtenida para cada unidad de tierra. El mapa proyectó los siguientes porcentajes en cuanto a la superficie total: el 67,25% de las unidades de tierra clasificaron como no aptas, un 19,25% como marginalmente apta, el 11,35% como moderadamente apta y tan sólo un 2,15% se considera apta para el TUT actual.

Es importante señalar que el resultado final que reduce significativamente la aptitud física de las unidades de tierra, se le atribuye principalmente a la variable aluminio intercambiable. Estos se contradicen con los rendimientos observados para esta unidad de producción, que son de los más altos en toda la zona. Como se señaló anteriormente, para esta variable se tienen que considerar rangos más flexibles adaptados a la tolerancia que presenta el cultivo café para el aluminio intercambiable en la solución del suelo.

**Tabla 14. Proceso de Armonización y confrontación de las cualidades de tierra vs. las unidades de tierra, (FAO, 1985).**

Unidad de Tierra	Pto. Muestreo	Cualidad de la Tierra							Aptitud Final
		CT3	CT5	CT6	CT7a	CT7b	CT14	CT24	
UT001	UPS 001	a1	-	-	a1	a1	-	a1	
	UPS 002	a1	a2	a1	a3	a1	n	a1	n
	UPS 003	a1	a1	a3	a2	a1	n	a1	n
	UPS 004	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n
	UPS 005	a1	a1	a1	a2	a1	n	a1	n
	UPS 006	a1	a2	a1	a2	a1	n	a1	n
	UPS 007	a1	a1	a1	a2	a1	n	a1	n
	UPS 008	a1	a2	a2	a1	a1	n	a1	n
	UPS 009	a1	a1	a2	a2	a1	a3	a1	a2
	UPS 014	a1	a1	a1	a3	a1	a2	a2	a2
UT002	UPS 019	a1	a1	a1	a2	a1	n	a3	n
	UPS 010	a1	a1	a1	a3	a1	a2	a1	a2
	UPS 011	a1	a1	a1	a2	a1	a3	a3	a3
	UPS 012	a1	a1	a1	a3	a1	n	a2	n
	UPS 013	a1	a1	a1	a2	a1	n	n	n
UT003	UPS 026	a1	a1	a1	a2	a1	n	a3	n
	UPS 015	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n
	UPS 016	a1	a1	a1	a3	a2	a2	a1	a2
	UPS 018	a1	a1	a1	a2	a2	a1	a1	a1
	UPS 020	a1	a2	a1	n	a2	n	a1	n
	UPS 021	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n
	UPS 022	a1	a1	a1	n	a3	n	a1	n
	UPS 023	a1	a1	a1	a3	a1	a2	a1	a2
	UPS 024	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n
	UPS 025	a1	a1	a1	a3	a1	a3	a1	a2
	UPS 027	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n
	UPS 028	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n
UPS 029	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n	
UPS 030	a1	a1	a1	a3	a1	n	a1	n	



**Figura 17. Clases de aptitud física de las unidades de tierra de la UPS “Argimiro Gabaldón”**

**3.2. Determinar las unidades de aptitud física de tierra para el cultivo de café (*Coffea arabica*), a través de la aplicación de paquetes estadísticos en la Unidad de Producción Socialista “Argimiro Gabaldón”, parroquia Mosquey, municipio Boconó estado Trujillo.**

Los datos obtenidos de cada variable por punto de muestreo se sometieron a un análisis discriminante para identificar las características que diferencian a las unidades de tierra de la UPS “Argimiro Gabaldón” y crear una función capaz de distinguir con la mayor precisión posible a los miembros de cada unidad. Además permitió identificar las variables determinantes para la clasificación de aptitud de los suelos.

**3.2.1. Grado de dispersión de las variables.**

En la tabla 15, se presenta el grado de dispersión que presentan las variables con respecto a la media por unidad de suelo y se infiere que el grupo de medidas guarda concordancia con el método aplicado.

**Tabla 15. Grado de dispersión de las variables.**

Unidades de Tierra	VARIABLES	Media	Desviación Estandar	Coefficiente de Variación
UT001	pH	4,3450	,56295	12,96
	Al Int.	2,6510	1,53147	57,77
	Prof. Efect.	62,1500	14,07924	22,65
	Pendiente	18,6280	19,23310	103,25
	Pedregosidad	,9536	1,27597	133,81
UT002	pH	4,7900	,31898	6,66
	Al Int.	2,1700	1,24896	57,56
	Prof. Efect.	48,4000	6,34823	13,12
	Pendiente	61,3000	31,57903	51,52
	Pedregosidad	,4332	,17420	40,21
UT003	pH	4,6190	,51026	11,05
	Al Int.	2,4619	1,57498	63,97
	Prof. Efect.	41,4286	8,58820	20,73
	Pendiente	10,4052	3,49574	33,60
	Pedregosidad	9,7428	13,26066	136,11
TOTAL	pH	4,5667	,51450	11,27
	Al Int.	2,4739	1,49033	60,24
	Prof. Efect.	48,1528	13,44769	27,93
	Pendiente	19,7581	22,70366	114,91
	Pedregosidad	6,0084	11,00061	183,09

### 3.2.2. Variables incluidas en el modelo.

La tabla 16, muestra las variables incluidas en el modelo matemático vía selección de variables, estas son; Pendiente, Profundidad efectiva y Textura.

**Tabla 16. Variables incluidas en el modelo.**

<b>Variab</b> les	<b>Tolerancia</b>	<b>F para eliminar</b>	<b>Lambda Wilks</b>
1 Pendiente	1,000	22,862	
2 Pendiente	0,988	22,479	0,540
Prof. Efectiva	0,988	13,849	0,419
3 Pendiente	0,890	25,241	0,434
Prof. Efectiva	0,988	11,405	0,287
Textura	0,900	5,578	0,225

### 3.2.3. Autovalores.

En la tabla 17, contiene los autovalores y algunos descriptivos estadísticos multivariantes. Éstos y el Lambda de Wilks se encuentran estrechamente relacionados y cobran mayor significado en el caso mayor de dos grupos. Cuando se trabaja con más de dos grupos, se obtiene más de una función discriminante y es posible comparar de manera global la capacidad discriminativa de cada función. En síntesis, las funciones (1 y 2) que componen el modelo son bastante desiguales (3,077 y 0,775), respectivamente. No obstante, a pesar que la segunda función muestra un autovalor menor que uno (1) y explica el 20,1 % de la variabilidad disponible en los datos, en comparación con la primera, además es importante señalar que la correlación canónica de ambas funciones es alta (0,869 y 0,661), lo que infiere que ambas funciones construidas permiten distinguir bastante bien las tres unidades de tierra.

**Tabla 17. Autovalores.**

<b>Función</b>	<b>Autovalor</b>	<b>% de Varianza</b>	<b>% Acomulado</b>	<b>Correlación Canónica</b>
1	3,077 <sup>a</sup>	79,9	79,9	0,869
2	0,775 <sup>a</sup>	20,1	100,0	0,661

Aunque un autovalor tiene mínimo cero, no tiene un valor máximo, lo cual lo hace difícilmente interpretable por sí sólo. Por esta razón se acostumbra a utilizar el estadístico lambda de Wilks, que se encuentra estrechamente relacionado con los autovalores.

#### **3.2.4. Lambda de Wilks.**

El lambda de Wilks contrasta de manera jerárquica la significación de las dos funciones obtenidas, el primer contraste (1 a la 2), para hacer inferencias sobre el modelo completo (ambas funciones discriminantes tomadas juntas). En la tabla 18, el valor de lambda de Wilks (0,138) es altamente significativo ( $p < 0,01$ ), lo que sugiere que el modelo permite distinguir significativamente entre las unidades de tierra. De igual forma, el segundo contraste mostrado, permite inferir si las medias de los grupos son iguales en la segunda función discriminante, en este caso, el lambda de Wilks (0,564) es altamente significativo ( $p < 0,01$ ), lo que indica que la segunda función discriminante permite distinguir entre al menos dos de las unidades de tierra.

**Tabla 18. Lambda de Wilks.**

<b>Contraste de las funciones</b>	<b>Lambda Wilks</b>	<b>Chi-cuadrado</b>	<b>gl</b>	<b>Sig.</b>
1	0,138	60,358	12	0,000
2	0,564	17,493	5	0,004

### 3.2.5. Centroides en las funciones discriminantes.

La tabla 19 muestra la posición de los centroides en cada una de las funciones discriminantes. La primera función distingue fundamentalmente a los puntos de muestreo de la unidad de tierra 3 (cuyo centroide está ubicado en la parte negativa) de las unidades de tierra 1 y 2. En la segunda función, el centroide de los puntos de muestra de la unidad de tierra 1 se encuentra en la parte negativa, mientras que el de los de la unidad de tierra 2 se encuentra en la parte positiva y el de la unidad 3 se ubica en la parte central. Dado que la primera función ha conseguido explicar el máximo de las diferencias entre la unidad de tierra 3 y el resto de las unidades, es lógico que la segunda función discrimine precisamente entre las dos unidades que han quedado más próximas en la primera, es decir, las unidades de tierra 1 y 2.

**Tabla 19. Valores de los centroides en las funciones discriminantes.**

Unidades de Tierra	Función	
	1	2
UT001	0,979	-1,267
UT002	3,400	1,222
UT003	-1,276	0,312

### 3.2.6. Matriz de coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas.

La matriz de coeficientes estandarizados (tabla 20) sugiere que la primera función discriminante, en este caso, la de mayor capacidad discriminativa, le da mayor ponderación a la pendiente, textura, profundidad efectiva, aluminio intercambiable y pH. En ambas funciones (1 y 2), la pendiente recibe la mayor ponderación como variable individual.

**Tabla 20. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas.**

	<b>Función</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>
pH	-0,421	0,374
AllInt	-0,595	0,130
Textura	0,720	0,011
Profefect	0,375	-0,814
Pend	0,983	0,388
Pedreg	-0,146	-0,049

### 3.2.7. Matriz de estructura.

La matriz de estructura (Tabla 21) muestra las variables que más correlacionan con ambas funciones, así pues, los resultados sugieren que las variables que más se relacionan con la primera función discriminante son la pendiente, textura y pedregosidad, ésta última se muestra como de poca importancia en el modelo, así como se observa una baja correlación de las variables pH y Aluminio intercambiable con esta función. Estos resultados sugieren que existen variables colineales, es decir, variables relacionadas linealmente entre sí, como es el caso del pH, aluminio intercambiable, las cuales pudieran estar relacionadas linealmente con la textura del suelo, mientras que en el caso de la pedregosidad, existe un efecto enmascarado con este parámetro.

Dado que esta función distingue fundamentalmente a unidades de tierra con pendiente pronunciada, textura pesada, bajos niveles de pH y aluminio intercambiable. En tal sentido, ésta función distingue principalmente a la unidad de tierra UT003 del resto de las unidades, podemos interpretar que en esta unidad de tierra (UT003), los suelos se caracterizan por presentar poca pendiente, textura ligera y alta pedregosidad, así como elevados niveles de pH y aluminio intercambiable. Por otro lado, la segunda función atribuye la mayor ponderación a la profundidad

efectiva. Dado que la segunda función distingue fundamentalmente a las unidades de tierra UT001 y UT002, se puede inferir que la unidad de tierra UT001 se caracteriza por tener una alta profundidad efectiva, mientras que la unidad de tierra UT002 se caracteriza por presentar baja profundidad efectiva.

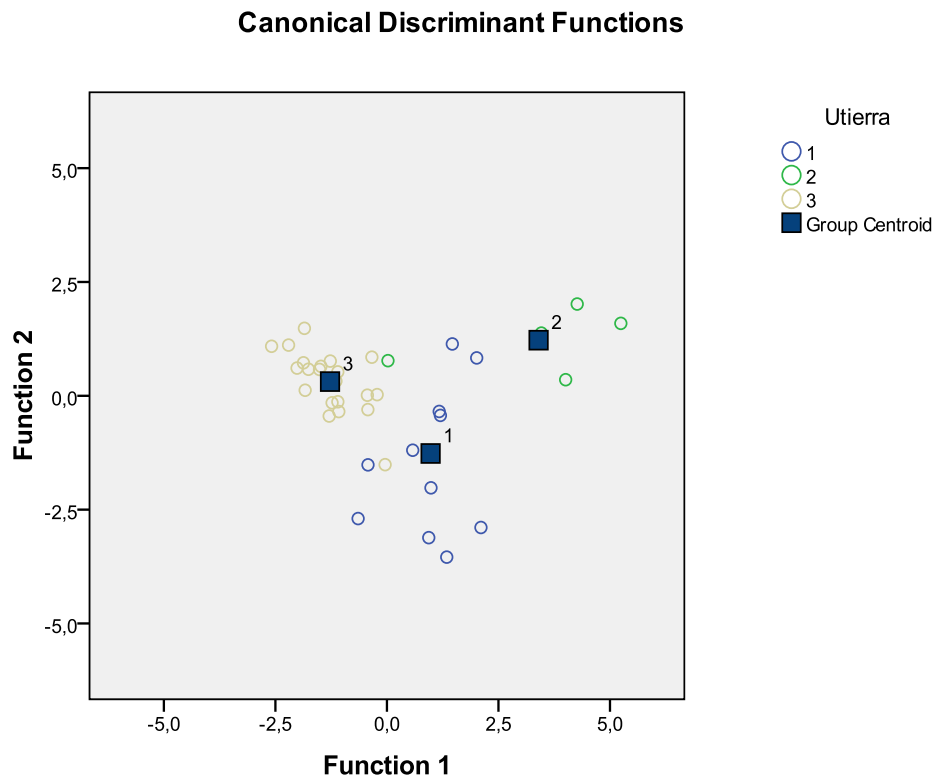
**Tabla 21. Matriz de estructura.**

	Función	
	1	2
Pendiente	0,615*	0,534
Textura	0,326*	-0,132
Pedregosidad	-0,233*	0,206
Prof. Efectiva	0,311	-0,845*
pH	0,004	0,349*
Al. Int.	-0,020	-0,107*

### 3.2.8. Matriz de confusión y resultados de clasificación.

Los resultados de la clasificación de las tres unidades de tierra (Anexo B) muestra que en la unidad de tierra UT001 fueron clasificados incorrectamente dos (2) puntos de muestreo (UPS014 y UPS018), ya que la probabilidad condicional (0,938 y 0,992), respectivamente, de pertenecer a la unidad de tierra UT002 es alta, lo que sugiere que se trata de puntos de muestreo bastante centrados en la unidad de tierra en la que fueron clasificados (UT002). De igual forma, el punto de muestreo UPS010 aparece incorrectamente clasificado, ya que la probabilidad condicional es bastante alta (0,983), lo que indica que se trata de un punto bastante centrado en la unidad que fue clasificado (UT003). Finalmente, el punto de muestreo UPS033 muestra una alta probabilidad condicional (0,992), lo que sugiere que se refiere a un punto bastante centrado en la unidad en la que fue clasificado (UT001).

La figura 18, muestra el diagrama de dispersión de todos los puntos de muestreo utilizados en el análisis sobre el plano definido por las dos funciones discriminantes. Los casos están identificados por unidad de tierra. La mayor utilidad de este gráfico es identificar casos atípicos difíciles de clasificar. En este caso, el diagrama muestra como la primera función discriminante (eje vertical) distingue a la unidad 3 de las otras dos unidades (1 y 2), así como la segunda función discrimina a estas dos últimas.



**Figura 18. Diagrama de dispersión de las tres unidades de tierra en las dos funciones discriminantes.**

La tabla 22, ofrece la matriz de confusión para los resultados de la clasificación, donde se observa que se ha clasificado correctamente el 89,19% de los puntos de muestreo de estas tres (3) unidades de tierra, lo cual es un porcentaje bastante alto. Los errores de clasificación no se distribuyen de manera simétrica. En la unidad de tierra UT003 se consigue el porcentaje de clasificación correcta más alto

(95,2%), frente a un porcentaje del 81,8% de la unidad de tierra UT001 y un 80% de la unidad de tierra UT002. Esta circunstancia resulta especialmente llamativa pues, a pesar de que la regla de clasificación se basa en probabilidades a priori para todas las unidades, el porcentaje de clasificación correcta más alto se da precisamente en la unidad con más puntos de muestreo (unidad de tierra UT003). Con base en los resultados de clasificación correcta de cada unidad, se puede inferir que los puntos de muestreo de la unidad de tierra UT001 tienden a confundirse ligeramente con los de la unidad de tierra UT002.

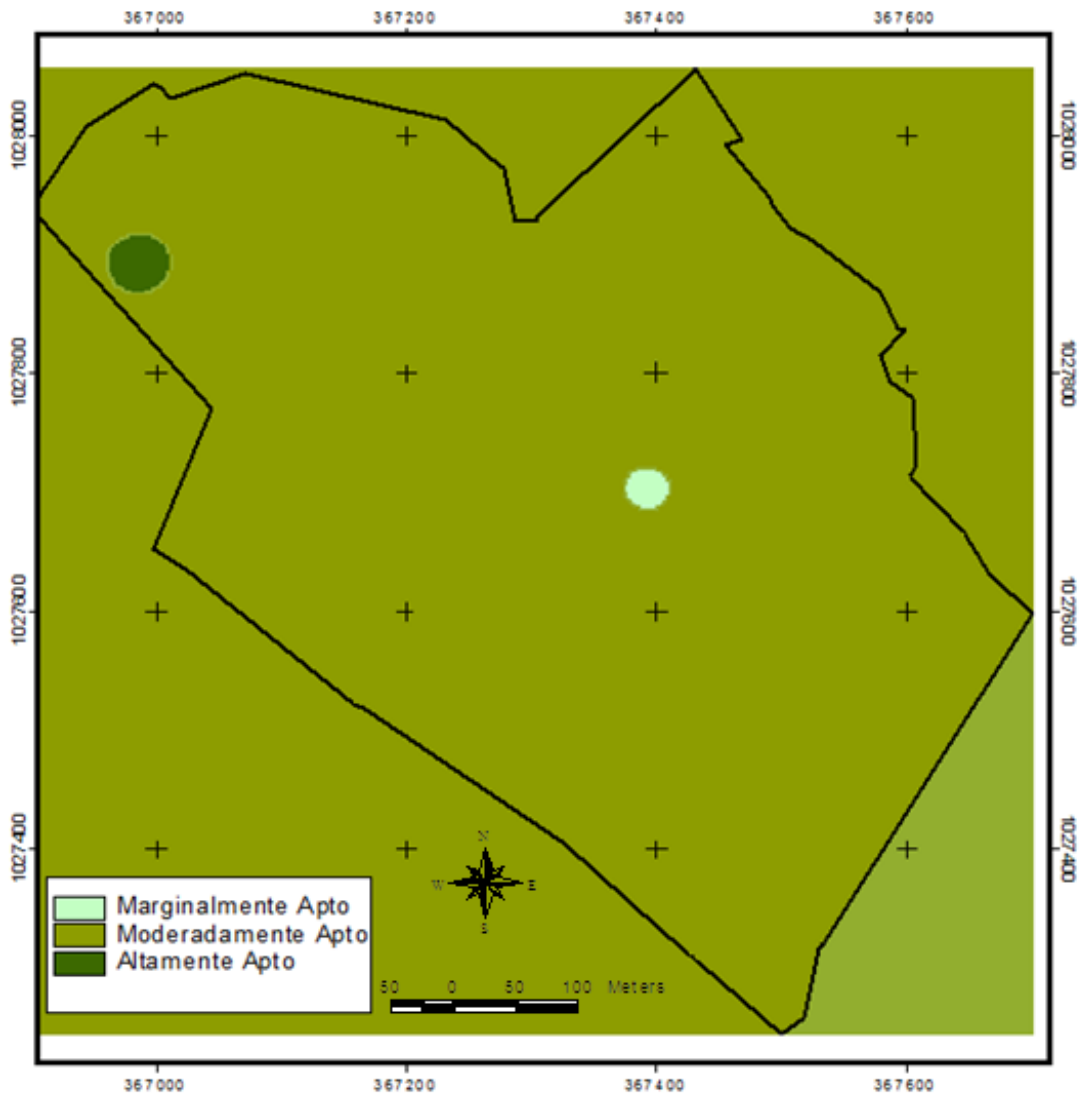
**Tabla 22. Clasificación de resultados**

		Unidad Tierra	Grupo de Pertenencia Pronóstico			Total
			UT001	UT002	UT003	
Original	Count	UT001	9	2	0	11
		UT002	0	4	1	5
		UT003	1	0	20	21
	%	UT001	81,8	18,2	,0	100,0
		UT002	,0	80,0	20,0	100,0
		UT003	4,8	,0	95,2	100,0
Cross-validated <sup>a</sup>	Count	UT001	9	2	0	11
		UT002	0	4	1	5
		UT003	1	0	20	21
	%	UT001	81,8	18,2	,0	100,0
		UT002	,0	80,0	20,0	100,0
		UT003	4,8	,0	95,2	100,0

### 3.2.9. Análisis estadístico.

El procedimiento utilizado para la realización de los mapas, se basó en el uso de un análisis estadístico, que consiste en la aplicación de una serie de técnicas estadísticas que permiten analizar variables regionalizadas. A través de un sistema de información geográfico se realizaron capas temáticas de las variables textura,

profundidad efectiva, pendiente, pedregosidad en el perfil, pH y aluminio intercambiable. Estas se sometieron a un análisis exploratorio de los datos y luego a un análisis estructural de datos, obteniendo como resultado final el mapa de aptitud física de los suelos para el cultivo café en la UPS “Argimiro Gabaldón” (Fig. 19).



**Figura 19.** Aptitud física de los suelos para el cultivo café en la UPS “Argimiro Gabaldón”.

**3.3. Confrontar los resultados obtenidos de aptitud física de tierra por la metodología de la FAO y la aplicación de paquetes estadísticos y elaborar el mapa de aptitud física de la tierra para el cultivo de café, mediante un sistema de información geográfico.**

Es importante señalar que obedeciendo a la premisa de que en el suelo todas las variables no presentan la misma ponderación y que éstas a su vez se encuentran relacionadas con otras variables más generales. Se aplicaron los estadísticos para corroborar esta hipótesis, obteniendo como resultado que las variables que más correlación tienen en el área de estudio con la posición fisiográfica son: la pendiente, textura, pedregosidad y profundidad efectiva y se observa una baja correlación de las variables pH y Aluminio intercambiable. Sin embargo, éstas son variables coloidales, es decir, variables relacionadas linealmente entre sí.

En función a lo anteriormente expuesto, para el análisis estadístico se le aplicó una ponderación menor a las variables de pH y aluminio intercambiable y tuvo un efecto directo sobre los resultados finales de la aptitud física de los suelos. En la figura 19, se describen las clases de aptitud y señalando que el 99,28 % de la superficie total del área de estudio resultó “moderadamente apta” para el TUT actual café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo, un 0,5 % clasifica como altamente apto y tan sólo el 0,23% es marginalmente apto.

Existe una diferencia considerable con los resultados obtenidos a través de la aplicación de la metodología de la FAO, 1985. Los cuales señalan para la misma área de estudio que el 67,25% clasifica como no apto para el TUT actual café bajo sombra en secano con moderado nivel de manejo, y tan sólo el 11,35 % se considera moderadamente apto.

## CONCLUSIONES

1. En el área de estudio resultaron tres unidades de tierra, lo cual contrasta con la revisión de las unidades de suelo provenientes de los estudios poco detallados (Preliminares o Gran Visión), por tanto, estos estudios no permiten la separación adecuada de unidades de tierra.
2. El valor de lambda de Wilks (0,138) es altamente significativo ( $p < 0,01$ ), lo que sugiere que el modelo permite distinguir significativamente entre las tres unidades de tierra.
3. A través del estadístico matriz de confusión resultó que se han clasificado correctamente el 89,19% de los puntos de muestreo de estas tres (3) unidades de tierra, lo cual es un porcentaje bastante alto.
4. El 86,11 % del área total, presenta un nivel de acidez altamente apto para el cultivo café. Si bien este rango de valores se encuentra entre muy fuertemente ácidos y moderadamente ácidos, el cultivo de café es tolerante a altos valores de acidez.
5. El 62% de los suelos en la UPS “Argimiro Gabaldón” son pocos profundos excediendo los 30 cm. y en su mayoría se encuentra en la unidad de Tierra UT003, con características de pendiente menores de 30%.
6. En los primeros 30 cm de profundidad se encuentra el 86% de las raíces absorbentes y un 89,9% de las raíces totales del cafeto. Lo cual indica que el cultivo necesita de agua y nutrientes a esta profundidad.
7. La pedregosidad en el perfil del suelo no alcanza los umbrales críticos (40% volumétrico con tamaño de fragmentos de roca mayor de 25 mm), en un 86,48 % de la superficie y se considera apta para el cultivo café. En la mayoría de los puntos muestreados que presentaban concentraciones moderadas de pedregosidad se encontraban a partir de los 25 cm.
8. Se concluye que el aluminio intercambiable clasificó el 69,44 % del área de estudio en no apto, con valores que superan 1,5 cmol/kg. Sin embargo, es

conveniente señalar que el cultivo café es tolerante a altos niveles de aluminio.

9. La evaluación física de las unidades de tierra seleccionadas para el tipo de utilización de la tierra actual Café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo, aplicando la metodología FAO (1985) permitió determinar que el 67,25 % de las unidades de tierra presentes en el área de estudio clasificaron como no aptas (n).
10. Es importante señalar que el resultado final que reduce significativamente la aptitud física de las unidades de tierra, se le atribuye principalmente a la variable aluminio intercambiable.
11. Los análisis estadísticos muestra que las variables más discriminantes son la pendiente, textura y pedregosidad, así como se observa una baja correlación de las variables pH y Aluminio intercambiable con la función discriminante. Esto sugiere que existen variables colineales, es decir, variables relacionadas linealmente entre sí, como es el caso del pH, aluminio intercambiable, las cuales pudieran estar relacionadas linealmente con la textura del suelo, mientras que en el caso de la pedregosidad, existe un efecto enmascarado con este parámetro.
12. Existe una diferencia considerable con los resultados obtenidos a través de la aplicación de la metodología de la FAO, 1985 y el análisis geoestadístico. Los cuales señalan para la misma área que el 67,25% clasifica como no apto para el TUT actual y con el método geoestadístico el 99,28 % de la superficie resultó “moderadamente apta” para el TUT actual café bajo sombra en seco con moderado nivel de manejo.
13. La diferencia de resultados en la aptitud física a través de la aplicación de ambas metodologías, obedece a la ponderación de las variables. La geoestadística aplica una ponderación y jerarquización de variables, mientras que la metodología de la FAO (1985) todas las variables presentan el mismo peso.

## RECOMENDACIONES

- Se requieren estudios más detallados como el presente, donde la cartografía de suelos permite separar con más facilidad las unidades de tierra.
- Es importante para estudios posteriores se realicen estudios detallados de las variables edáficas vs. rendimientos, para definir los requerimientos del cultivo café y poder aplicar las metodologías de clasificación de tierras con un mayor grado de certeza.
- Se debe considerar un estudio detallado de la tolerancia del cultivo para el catión aluminio, a los efectos de tener una clasificación de valores más ajustados a la realidad
- Se recomienda realizar enmiendas de encalado para neutralizar la acidez del suelo, el encalado de los suelos ácidos produce efectos benéficos tanto en las características químicas como físicas. El mayor beneficio es la solubilidad del aluminio intercambiable y el manganeso, los cuales son tóxicos para el cultivo café.
- Es necesario evaluar el estudio de aptitudes físicas con tipos de utilización de las tierras potenciales con las variedades de café que se cultivan en el área de estudio, con el propósito de ofrecer soluciones técnicas integrales para la zona.
- Evitar o minimizar la aplicación de fertilizantes amoniacales en las fertilizaciones edáficas y sustituirlos por fertilizantes a base de nitratos. Los nitratos producen una reacción alcalina en el suelo (aumentan el pH), resultando equivalente a una aplicación de carbonato de calcio. En cambio los fertilizantes amoniacales o la urea producen una reacción ácida, la que debería ser neutralizada por una cantidad determinada de carbonato de calcio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aular, E. 2006. Aptitud física de las áreas cafetaleras de la microcuenca del río Monaicito, municipio Pampán, estado Trujillo. Trujillo. Venezuela.
- Aldana, A. y González, C. s/n. Aplicación de un sistema de información geográfica para planificar cuencas hidrográficas. [Documento en línea]. Universidad Nacional de Colombia. Red Nacional de Conservación de Suelos y Aguas. Departamento de Ingeniería Agrícola. En: <http://proceedings.esri.com/library/userconf/latinproc99/ponencias/ponencia25.html>. [2009, marzo 14].
- Arroyo, L. 1999. La tecnología de los sistemas de información geográfica en el uso de la tierra. [Documento en línea]. XI Congreso Nacional Agronómico / I Congreso Nacional de Extensión 1999. En: [http://www.mag.go.cr/congreso\\_agronomico\\_XI/a50-6907-I\\_237.pdf](http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-I_237.pdf). [2010, mayo 15].
- Bastardo, *et al.* s/f. El aluminio intercambiable y su relación con la disponibilidad de algunos nutrientes en suelos ácidos de Venezuela. INIA.
- Bernier, R. y Alfaro, M. Acidez de los suelos y efectos del encalado. INIA. Boletín N° 151. Osorno, Chile. 47 p.
- Bravo, S. 2000. Aspectos Básicos de Química de Suelos. UNELLEZ. Barinas. Venezuela. 249 p.
- Briceño, F. Fernández, O. Peña, A. y Faccin, E. 2011. Evaluación Agronómica con técnicas de agricultura de precisión en parcelas de café (*Coffea arabica*) en la Cuenca del río Castán. Estado Trujillo. ULA. 69 p.
- Buol, S. W. Hole, F. y McCracken, R. 2000. Génesis y clasificación de Suelos. 2<sup>da</sup> ed. México. 417 p.

- Castillo, A. De Michelli, C. Leiva, G. y Subosky, M. s/f. Influencia de enmiendas orgánicas sobre el aluminio de cambio y fósforo disponible en un ultisol. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Argentina.
- CORPOANDES, 1986. Diagnóstico físico – natural de la cuenca del río Boconó. CIDIAT. Centro de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Trujillo. Venezuela.
- Cozas, P.; y L. Rengel. 1980. Niveles de acumulación cuaternaria en el valle piedemonte del Río Guanare. VI Congreso Venezolano de Ciencias y Suelos, Guanare.
- Delgado, F. 1996. Índice para evaluar riesgo de erosión hídrica en áreas montañosas con escasa información. CIDIAT (Mimeografiado).
- Delgado, F. 1997. Sistema para la evaluación y clasificación de tierras agrícolas y prioridades de conservación de suelos en áreas montañosas tropicales. CIDIAT.
- Delgado, F. 2010. El proceso de evaluación de tierras. Mérida. Venezuela. CIDIAT – ULA.
- Ewel J. Madriz A. y Tosi J. 1976. Zonas de Vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el Mapa Ecológico. Ministerio de Agricultura y Cría. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Segunda edición. Caracas, Venezuela. 265 p.
- FAO, 1976. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *A framework for land evaluation*. Soils Bulletin 32, Rome, Italy: FAO.
- FAO, 1985. Organización de la Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Evaluación de Tierras Para la Agricultura en Secano. [Boletín técnico 52] Roma. 228 p.
- FONAIAP, 1988. Paquete tecnológico para la producción de café. Serie paquetes tecnológicos N° 6. Maracay. Venezuela. 192 p.

- García, A. N. 1988. Cafetales y café. UCV. Caracas. Venezuela. 225 p.
- Gásperi, T. 1999. Condición de sedimentación del embalse Boconó. Propuesta para su estimación futura. Tesis MSc. UNELLEZ. Guanare. Venezuela. 93p.
- Gutiérrez, A. 2009. Acerca de la simulación de observación. [Documento en línea]. En: <http://www.estanislao.com.br/blog/files/simulacao.pdf>. [2012, enero 09].
- INICA, 2008. Tarea técnica para los proyectos de riego y drenaje en el polígono Rojas – Caño Hondo del estado Barinas. [Documento sin publicar].
- Jaramillo, J. H. 1996. El café en Venezuela. UCV. Caracas. Venezuela. 269 p.
- Landaeta, J. 2006. Caracterización, Diagnóstico y Proyecto de Control de la quebrada El Toro. Boconó. Estado Trujillo. Venezuela.
- MARN, 1989. Plan de manejo conservacionista de la Cuenca Boconó. Trujillo.
- MARN, 2001. Estudio a gran visión de los suelos de la Zona Protectora Guanare-Masparro. Guanare, Portuguesa.
- MARN, 2005. Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) por Figura. Documento sujeto a revisión. Dirección General de Planificación y Ordenación Ambiental. Caracas.
- Méndez, E. 1992. Gestión ambiental y ordenación territorial. Consejo de publicaciones, Universidad de los Andes. Mérida.
- Montilla, E. 2012. Clasificación de suelos según su fertilidad en la unidad de producción cafetalera “Argimiro Gabaldón” de la parroquia Mosquey, estado Trujillo. [Documento sin publicar].

- Ordenamiento Territorial Rural Sostenible, 2003. Evaluación de tierras con metodología de la FAO. Santiago de Chile. Departamento Regional.
- Ortiz, G. 2005. Sistemas de información geográficos. Tipos de SIG y modelos de datos. [Documento en línea]. En: <http://www.recursos.gabrielortiz.com/>. [2011, noviembre 22].
- Poesen, J. y H. Lavee. 1994. Rock fragments in topsoils: significance and processes. *Catena*, 23:1-29.
- Pla, I. 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación en condiciones tropicales. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. 112p.
- Rossiter, D. 1994. Evaluación de tierras. Departamento de las Ciencias del Suelo, de los Cultivos y de Atmósfera. Universidad Cornell. Bolivia. 48p.
- UCV-FONCAFÉ, 1986. Segundo censo nacional del café. Maracay.
- Velásquez, F.; y Castro, R. 2006. Datos hidrometeorológicos y sedimentos en suspensión para los estudios de aprovechamiento hidroeléctrico Boconó-Tostos. Centro de Ecología de Boconó. ULA – NURR. 83p.

**ANEXOS**

**ANEXO A. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS**

**ANEXO B. MATRIZ DE CONFUSIÓN**

## Matriz de confusión.

Case Number	Number of Predictors with Missing Values	Highest Group						Second Highest Group			Discriminant Scores		
		Actual Group	Predicted Group	P(D>d   G=g)		Squared Mahalanobis Distance to Centroid	Group	P(G=g   D=d)		Function 1	Function 2		
				p	df			p	df				
Original	1	3	1	1	,181	2	,999	3,419	3	,001	16,649	,938	-3,115
	2		1	1	,641	2	,908	,889	3	,057	6,420	1,172	-,344
	3		1	1	,141	2	,999	3,916	2	,001	18,598	2,107	-2,893
	4		1	1	,688	2	,922	,748	3	,048	6,672	1,198	-,430
	5		1	1	,752	2	,993	,569	3	,007	10,567	,987	-2,021
	6		1	1	,096	2	,915	4,684	3	,085	9,448	-,646	-2,696
	7		1	1	,362	2	,735	2,033	3	,265	4,069	-,425	-1,516
	8		1	1	,070	2	1,000	5,314	3	,000	21,712	1,341	-3,543
	9		1	1	,920	2	,940	,166	3	,059	5,708	,578	-1,195
	10		2	3**	,387	2	,825	1,897	1	,169	5,068	,023	,771
	11		2	2	,171	2	1,000	3,535	1	,000	26,351	5,243	1,591
	12		2	2	,986	2	,999	,028	1	,001	13,153	3,462	1,377
	13		2	2	,502	2	1,000	1,379	1	,000	21,571	4,265	2,016
	14		1	2**	,154	2	,700	3,747	1	,224	6,023	1,466	1,139
	15		3	3	,471	2	,999	1,506	1	,001	15,805	-2,205	1,114
	16		3	3	,896	2	,950	,220	1	,050	6,116	-1,229	-,154
	17		3	3	,841	2	,991	,347	1	,009	9,837	-1,833	,122
	18		1	2**	,354	2	,838	2,077	1	,153	5,474	2,012	,833
	19		3	3	,314	2	1,000	2,317	1	,000	18,251	-2,585	1,088
	20		3	3	,549	2	,721	1,198	1	,278	3,107	-,219	,026
	21		3	3	,428	2	,999	1,699	1	,001	15,560	-1,850	1,482
	22		3	3	,674	2	,807	,790	1	,193	3,649	-,439	,014
	23		3	3	,858	2	,995	,307	1	,005	10,922	-1,759	,583
	24		3	3	,790	2	,909	,473	1	,091	5,081	-1,079	-,346
	25		2	2	,571	2	,995	1,122	1	,005	11,787	4,006	,353
	26		3	3	,963	2	,977	,076	1	,023	7,538	-1,101	,525
	27		3	3	,769	2	,997	,525	1	,003	12,091	-1,871	,725
	28		3	3	,991	2	,971	,018	1	,029	7,031	-1,143	,324
	29		3	3	,938	2	,991	,127	1	,009	9,611	-1,512	,579

30	3	3	,558	2	,924	1,168	1	,074	6,206	-,337	,848
31	3	3	,577	2	,712	1,098	1	,288	2,906	-,427	-,303
32	3	3	,926	2	,992	,154	1	,008	9,707	-1,479	,647
33	3	1**	,577	2	,867	1,100	3	,133	4,855	-,041	-1,513
34	3	3	,751	2	,933	,573	1	,067	5,847	-1,295	-,444
35	3	3	,893	2	,937	,227	1	,063	5,614	-1,100	-,131
36	3	3	,728	2	,997	,634	1	,003	12,482	-2,015	,609
37	3	3	,904	2	,989	,202	1	,011	9,173	-1,270	,762
Cross-validated <sup>a</sup>											
1	1	1	,171	6	,998	9,048	3	,002	21,879		
2	1	1	,032	6	,575	13,801	2	,215	15,771		
3	1	1	,163	6	,999	9,201	2	,001	22,421		
4	1	1	,123	6	,741	10,034	3	,134	13,448		
5	1	1	,907	6	,991	2,134	3	,009	11,615		
6	1	1	,008	6	,506	17,509	3	,494	17,554		
7	1	1	,563	6	,575	4,849	3	,425	5,454		
8	1	1	,158	6	1,000	9,290	3	,000	26,462		
9	1	1	,948	6	,923	1,665	3	,076	6,665		
10	2	3**	,519	6	,943	5,194	1	,057	10,808		
11	2	2	,161	6	1,000	9,240	1	,000	31,759		
12	2	2	,795	6	,997	3,112	1	,003	14,812		
13	2	2	,001	6	1,000	23,230	1	,000	39,993		
14	1	2**	,373	6	,938	6,465	3	,049	12,389		
15	3	3	,888	6	,999	2,321	1	,001	16,793		
16	3	3	,288	6	,913	7,365	1	,087	12,067		
17	3	3	,000	6	,980	40,063	1	,020	47,815		
18	1	2**	,449	6	,992	5,777	1	,006	16,064		
19	3	3	,116	6	1,000	10,219	1	,000	27,887		
20	3	3	,747	6	,648	3,477	1	,350	4,709		
21	3	3	,000	6	1,000	28,035	1	,000	44,513		
22	3	3	,660	6	,733	4,125	1	,267	6,145		
23	3	3	,928	6	,994	1,905	1	,006	12,262		
24	3	3	,905	6	,889	2,152	1	,111	6,309		
25	2	2	,788	6	,990	3,164	1	,010	12,280		
26	3	3	,737	6	,969	3,553	1	,031	10,447		
27	3	3	,832	6	,997	2,810	1	,003	14,221		
28	3	3	,272	6	,952	7,559	1	,048	13,537		
29	3	3	,607	6	,989	4,520	1	,011	13,577		
30	3	3	,761	6	,897	3,371	1	,100	7,751		
31	3	3	,672	6	,621	4,034	1	,378	5,028		
32	3	3	,299	6	,989	7,247	1	,011	16,287		
33	3	1**	,207	6	,992	8,447	3	,008	18,210		
34	3	3	,973	6	,922	1,277	1	,077	6,231		

35	3	3	,917	6,922	2,024	1	,078	6,971		
36	3	3	,790	6,997	3,149	1	,003	14,887		
37	3	3	,689	6,986	3,911	1	,014	12,420		

For the original data, squared Mahalanobis distance is based on canonical functions.

For the cross-validated data, squared Mahalanobis distance is based on observations.

\*\* . Misclassified case

Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case.