



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

---

**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias**

**Estimación de regímenes hidrotérmicos del suelo  
mediante el modelo de simulación calibrado Newhall  
(V.1.6.2010), en tres grupos texturales de suelos del  
estado de Jalisco, México**

**Tesis  
que para obtener el grado de**

**Doctor en Ciencias en Biosistemática, Ecología y  
Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas**

**Presenta**

**Jorge Pedro Topete Ángel**

**DIRECTOR**

**Dr. José Ariel Ruiz Corral**

**CODIRECTOR**

**Dr. José Ron Parra**



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

## Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos  
Naturales y Agrícolas

**“Estimación de regímenes hidrotérmicos del suelo mediante el modelo  
de simulación calibrado Newhall (V.1.6.2010), en tres grupos texturales  
de suelos del estado de Jalisco, México”**

Por

**Jorge Pedro Topete Ángel**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de:  
Doctor en Ciencias en Biosistemática, Ecología y  
Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas**

**Aprobada por:**

\_\_\_\_\_  
Dr. José Ariel Ruiz Corral  
Director de tesis e integrante del jurado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Dr. José Ron Parra  
Codirector de tesis e integrante del jurado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Dr. Diego Raymundo González Eguiarte  
Asesor Interno de tesis e integrante del jurado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Dr. Agustín Gallegos Rodríguez  
Integrante del jurado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Dr. Raymundo Villavicencio García  
Integrante del jurado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Dr. Diego Raymundo González Eguiarte  
Coordinador de la Orientación en Ciencias Agrícolas

\_\_\_\_\_  
Fecha



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

## Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Doctorado en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas

“Estimación de regímenes hidrotérmicos del suelo mediante el modelo de simulación calibrado Newhall (V.1.6.2010), en tres grupos texturales de suelos del estado de Jalisco, México”

Por

**Jorge Pedro Topete Ángel**

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de:  
**Doctor en Ciencias en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas**

Aprobada por:

Dr. José Ariel Ruiz Corral  
Director de tesis e integrante del jurado

18 Agosto 2014  
Fecha

Dr. José Ron Parra  
Codirector de tesis e integrante del jurado

AGO 18, 2014  
Fecha

Dr. Diego Raymundo González Eguiarte  
Asesor Interno de tesis e integrante del jurado

18 Agosto 2014  
Fecha

Dr. Agustín Gallegos Rodríguez  
Integrante del jurado

18 agosto 2014  
Fecha

Dr. Raymundo Villavicencio García  
Integrante del jurado

18 agosto 2014  
Fecha

Dr. Diego Raymundo González Eguiarte  
Coordinador de la Orientación en Ciencias Agrícolas

18 agosto 2014  
Fecha

*No hemos de creer lo que decimos, porque lo hemos dicho, oído o por tradición; ni porque lo dijo un sabio o por inspiración divina, sino que hemos de creer cuando lo escrito, doctrina o dicho, es corroborado por nuestra propia razón y conciencia. Por eso aprende a creer conscientemente y actúa de acuerdo y plenamente.*

Djwhal Khulk  
(El Tibetano)

## **DEDICATORIA**

*A la memoria de mi ahijado Carlo Albertti (†), quien en la frescura de su vida, con gran nobleza, valor y entereza, hasta el último de tus días nos dejaste gratos ejemplos y valiosos recuerdos.*



(1978-2010)

## ***AGRADECIMIENTOS***

A Dios por permitirme culminar mis estudios doctorales, así como el ejercicio de una vida profesional exitosa y productiva.

A la Universidad de Guadalajara, especialmente al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, por permitirme la oportunidad de formarme en su seno y por el apoyo recibido para lograr el importante objetivo de la obtención de mí grado doctoral.

Con mi más amplio reconocimiento para el Dr. José Ariel Ruíz Corral, por su fraternal franqueza y gran labor como asesor principal de mi trabajo de tesis.

Mi más sincero y patente reconocimiento al Dr. Diego Raymundo González Eguiarte, por su gran amistad, tesón y consejos desinteresados; los que he recibido con beneplácito bajo su tutela, para concluir mi objetivo académico.

Al Dr. José Ron Parra, por su valiosa asesoría y alentadoras recomendaciones para la elaboración del documento de tesis.

A los Doctores Agustín Gallegos Rodríguez y Raymundo Villavicencio García, por su desinteresada participación y atinada colaboración en la revisión de este documento para la conclusión de la tesis.

Así mismo agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por distinguirme como becario de la institución.

A mis compañeros y colaboradores Román Jaime Granados (*†*), por su apoyo logístico de campo; a Pedro Iván Martel Vargas, Ismael Martel Vargas, Leonardo Fabián Macías y Germán Diego Díaz López, por el soporte de gabinete en la elaboración de este documento.

Finalmente mí más grande amor y profundo agradecimiento a mi esposa María Elena y a mis hijos Georgina Elena, Marcia Natalia, Pedro Omar y Marlon Eduardo Yollotli; por su amor, apoyo y paciencia inconmensurables, durante el tiempo requerido para la elaboración de este documento, permitiéndome alcanzar uno de mis objetivos primordiales: la obtención del grado de Doctor en Ciencias Agrícolas.

## CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN.	1
2. REVISION DE LITERATURA.	3
2.1 El suelo	3
2.2 Perfil y horizontes del suelo	4
2.2.1 El perfil del suelo	4
2.2.2 Horizontes del suelo	5
2.3 El agua y la temperatura en el suelo	8
2.3.1 El agua en el suelo	8
2.3.2 La Temperatura en el suelo	10
2.4 Métodos de estimación de la humedad y temperatura del suelo	12
2.4.1 Estimación de la humedad del suelo	12
2.4.1.1 Métodos directos	12
2.4.1.2 Métodos indirectos	14
2.4.2 Estimación de la temperatura del suelo	16
2.4.2.1 Métodos directos	16
2.4.2.2 Métodos indirectos	16
2.5 Modelos de simulación de balances humedad/temperatura	17
2.5.1 Modelo de simulación dinámica	18
2.5.1.1 Balance hídrico de Thornthwaite	18
2.5.1.2 Programa CERES para simular perfiles de humedad del suelo	18
2.5.1.3 Modelo simple de persistencia de herbicidas	19
2.6 Modelo de simulación de Newhall, 2010	21
2.6.1 El perfil de humedad del suelo	21
2.6.2 Captación y remoción de agua	22
2.6.3 Factores climáticos	23
2.6.4 La secuencia Espacio – Tiempo con el modelo de simulación Newhall	23

2.6.5	Proceso de secuencia durante el año	24
2.6.6	Cambios del contenido de agua durante cada periodo	24
2.6.6.1	Humedecimiento ó Incremento	24
2.6.6.2	Secado ó Reducción	25
2.6.7	Definiciones de las condiciones de humedad del suelo	26
2.6.8	Numero de días de la condición de humedad en cada periodo	27
2.6.9	Cambios en la temperatura del suelo	28
2.6.10	Determinación del régimen de humedad y temperatura del suelo	28
2.6.11	La clasificación de suelos	28
2.6.12	La sección de control de humedad	29
2.6.13	Regimenes de humedad y temperatura del suelo	31
2.6.14	Propuesta de subdivisiones tentativas de regimenes de humedad (Newhall, 1972)	32
2.6.15	Claves para las subdivisiones de los regímenes de humedad	33
2.7	Propuesta de modificación de Jarauta, al modelo de simulación de Newhall	34
2.8	Conclusión de revisión bibliográfica	35
3.	HIPÓTESIS	37
4.	OBJETIVOS	37
4.1	General	37
4.2	Particulares	37
	Literatura consultada	38
5.	DESCRIPCIÓN DE PERFILES Y AJUSTE DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE HUMEDAD EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD DE SUELOS ARCILLOSOS, ARENOSOS Y FRANCOS DE JALISCO, MÉXICO	44
	Resumen	45
	Abstract	46
	Introducción	47
	Materiales y Métodos	49

	Resultados y Discusión	52
	Conclusiones	67
	Literatura consultada	67
6.	USO DEL MODELO NEWHALL PARA REPRESENTAR LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA HUMEDAD DEL SUELO	68
	Resumen	70
	Abstract	71
	Introducción	72
	Introducción	73
	Materiales y Métodos	75
	Resultados y Discusión	84
	Conclusiones	84
	Literatura consultada	84
7.	CAMBIO CLIMATICO Y TEMPERATURA DEL SUELO EN AREAS AGRICOLAS DEL CENTRO DE JALISCO, MEXICO	87
	Resumen	88
	Abstract	89
	Introducción	91
	Materiales y Métodos	93
	Resultados y Discusión	94
	Conclusiones	108
	Literatura consultada	108
8.	ESTIMACIÓN DE REGÍMENES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO MEDIANTE MODELO DE SIMULACIÓN (NEWHALL, 2010), EN TRES GRUPOS TEXTURALES DE SUELOS DEL ESTADO DE JALISCO, MÉXICO	113
	Resumen	114
	Abstract	115
	Introducción	116

	Materiales y Métodos	117
	Resultados y Discusión	123
	Conclusiones	155
	Literatura consultada	
9.	DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS	157
10.	CONCLUSIONES GENERALES	159

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Horizontes genéticos y capas del suelo (FAO, 1974).	7
2	Horizontes de diagnóstico (Taxonomía de Suelos, 2006).	8
5.1	Localización geográfica, altitudinal y características de textura de suelo de tres sitios de observación en la región Centro del estado de Jalisco.	49
5.2	Descripción de perfil de suelo. Rancho Cofradía, Tlajomulco de Zúñiga, Jal.	53
5.3	Descripción de perfil de suelo. Campo CUCBA, Zapopan, Jal.	54
5.4	Descripción de perfil de suelo. Rancho Los Agaves, Tala, Jal.	56
5.5	Propiedades físicas de suelos con textura diferente, de tres localidades en el Centro del estado de Jalisco.	58
5.6	Porcentaje de estados de humedad de la sección de control de humedad en tres sitios de observación.	60
5.7	Estado diario de la sección de control de humedad en el Lote 1: CUCBA. Año 2009, obtenido por interpolación de las gráficas de campo.	61
5.8	Número de días con disponibilidad de humedad en la SCHS, bajo tres procedimientos: Monitoreo en campo (arriba) y simulaciones con el Modelo Newhall 1.6.: considerando supuestos originales del modelo (en medio) y con capacidad de retención de humedad ajustada (abajo).	63
6.1	Estadísticos básicos, normalidad y valor del estadístico Kolmogorov-Smirnov para datos normales de precipitación y temperatura anuales periodo 1961-1990 en sitios con textura de suelo gruesa, media y fina.	74
6.2	Análisis de varianza para datos de temperatura y precipitación de sitios de tres grupos texturales.	74
6.3	Resultados de la prueba de t y prueba de F en la comparación de medias 1961-1990 versus 2040-2069 de diversos parámetros climáticos y de humedad del suelo en sitios de textura gruesa, textura fina y textura media.	76

6.4	Parámetros de simulación de la humedad del suelo con el modelo Newhall 1.6 en sitios con textura gruesa, en dos climatologías: A: 1961-1990; B: 2040-2069.	80
6.5	Parámetros de humedad del suelo modelados en sitios con textura fina, en dos climatologías: A: 1961-1990; B: 2040-2069.	81
6.6	Parámetros de humedad del suelo modelados en sitios con textura media, en dos climatologías: A: 1961-1990; B: 2040-2069.	82
7.1	Cuadro 1. Estadísticos básicos de datos de temperatura de suelo a 30 cm en los lotes experimentales.	95
7.2	Cuadro 2. Modelos de regresión lineal entre temperatura del aire y temperatura del suelo para profundidades de suelo correspondientes a los límites de la sección de control en dos suelos tipo.	101
7.3	Cuadro 3. Cambio de temperatura del suelo entre al año 2050 y al año 2090 con relación a 1961-2010, para los doce meses del año en la sección de control de humedad de un suelo arenoso y un suelo arcilloso.	105
8.1	Grupos climáticos y Regiones del Estado de Jalisco.	117
8.2	Formato en archivo CSV para captura de datos para cálculo del modelo de simulación Newhall (V.1.6.2010).	119
8.3	Listado de estaciones meteorológicas normales del estado de Jalisco y regímenes hidrotérmicos de suelos.	124
8.4	Regímenes de Humedad y Temperatura de los Suelos de Estado de Jalisco.	128
8.5	Número de días acumulados y consecutivos en que la SCHS se encuentra con humedad o seca.	135
8.6	Humedad almacenada (mm) en la sección de control en tres texturas de suelos y temperatura (°C) del aire.	141
8.7	Unidades y subunidades de suelos, superficie y porcentaje en Jalisco.	147
8.8	Texturas de suelos en el Estado de Jalisco.	148
8.9	Superficies Agrícolas por textura en Jalisco.	148
8.10	Superficies de regímenes de humedad y temperatura de los suelos en Jalisco	149

## INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Perfil idealizado de humedad del suelo.	21
2	Diagrama de humedad del suelo, secuencia de aberturas durante incremento o llenado.	22
3	Diagrama de humedad del suelo, secuencia de ranuras durante decremento o secado.	25
4	Diagrama de requerimientos de secado. Modelo Newhall, 1972.	26
5.1	Diagrama de lecturas de humedad medidas en porcentaje versus tensión de humedad (bars) y resistencia eléctrica (ohms).	51
5.2	Perfiles de suelo de lotes experimentales en Rancho Cofradía; campo CUCBA y Rancho Los Agaves.	53
5.3	Gráfica de humedad del suelo franco. Campo 1. CUCBA, Zapopan, Jal. Periodo 2009-2011.	59
5.4	Gráfica de humedad del suelo arcilloso. Campo 2. Rancho Cofradía, Tlajomulco, Jal. Periodo 2009-2011.	59
5.5	Gráfica de humedad del suelo arenoso. Campo 3. Rancho Los Agaves, Tlajomulco, Jal. Periodo 2009-2011.	59
7.1	Figura 1. Valores de temperatura del suelo en la sección de control de humedad (SCHS) de un suelo arenoso (Los Agaves) y uno arcilloso (Cofradía).	96
7.2	Figura 2. Relación entre temperatura media del aire y temperatura del suelo en los límites de la sección de control de humedad del suelo en un suelo arenoso de Rancho Los Agaves, Jalisco.	99
7.3	Figura 3. Relación entre temperatura media del aire y temperatura del suelo en los límites de la sección de control de humedad del suelo en un suelo arcilloso de Rancho Cofradía, Jalisco.	100
7.4	Figura 4. Proyecciones de temperatura en la sección de control de humedad de un suelo arenoso: a 30 cm de profundidad (arriba) y a 90 cm de profundidad (abajo).	102

7.5	Figura 5. Proyecciones de temperatura en la sección de control de humedad de un suelo arcilloso (Rancho La Cofradía): a 10 cm de profundidad (arriba) y a 30 cm de profundidad (abajo).	103
8.1	Archivo de datos FLX para el cálculo del balance hidrotérmico del suelo.	120
8.2	Salida de datos para presentación de resultados del cálculo Newhall.	121
8.A	Mapa de texturas de suelos y estaciones meteorológicas.	150
8.B	Mapa de unidades de suelos.	151
8.C	Mapa de texturas de suelos y uso agrícola.	152
8.D	Mapa de regímenes de humedad y temperatura de suelos.	153

## RESUMEN

Esta investigación es de Naturaleza agronómica y versa sobre la problemática de la disponibilidad de agua y temperatura en la agricultura de secano que depende invariablemente de las condiciones del clima y la gran variabilidad de suelos presentes en Jalisco; factores de la producción que dificultan grandemente la programación racional de las tierras de labranza. El propósito de este trabajo es comparar el modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010) con datos semanales de campo de humedad y temperatura del suelo, para estimar las variaciones de estos factores en función de su textura, en un clima semiárido - semicálido presente en los valles agrícolas del estado de Jalisco, México.

El modelo empleado se basa en los regímenes de humedad y temperatura del suelo propuestos por la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006), e incluye subdivisiones tentativas de los regímenes de humedad. Se establecieron tres sitios experimentales en los valles de San Isidro Mazatepec y Zapopan, describiéndose tres perfiles de suelos representativos, cuyo muestreo de horizontes y morfología permitieron clasificarlos según la Taxonomía citada, resultando que los suelos de textura arcillosa son *Ustic Endoaquerts*, los de textura franca son *Haplic Ustarents* y los de textura arenosa corresponden a *Udic Ustifluents*; en los que se tomaron datos de temperatura y contenido de humedad en la Sección de Control de Humedad del Suelo (SCHS), los que se compararon con los balances de humedad generados por el modelo de simulación, siendo necesario de hacer ajustes al modelo para alcanzar un valor predictivo más exacto.

En la comparación se concluye que el modelo de simulación al emplear 200 mm de agua almacenada para el cálculo de regímenes de humedad, sobreestima la disponibilidad de agua en la SCHS, por lo que mediante la versión 1.6 del modelo Newhall (2010), se ajustó el modelo calibrando los niveles de humedad para tres diferentes texturas del suelo. En el caso de los suelos *Haplic Ustarents*, el modelo subestima y predice parcialmente las reservas de humedad en la SCHS, ya que el contenido de pómez (jal), permite que la SCHS permanezca medio húmeda hasta iniciar nuevamente el ciclo de lluvias. Con el modelo de simulación calibrado, se emplearon datos de temperatura proyectados para la década 2050, con el fin de estimar el efecto del cambio climático en suelos arcillosos y arenosos del centro de Jalisco. Mediante el empleo de sistemas de información geográfica, se crearon

bases de datos para editar la cartografía temática de regímenes de humedad y temperatura así como la distribución de los suelos clasificados, en los valles señalados.

### **ABSTRACT**

The research is of agricultural nature and deals with the problem of water and temperature availability in rained agriculture that invariably depends on weather conditions and the high variability of soils present in Jalisco, factors of production that greatly hinder rational programming of farmland. The purpose of this work is to compare the Newhall Simulation Model (1972) with field data of soil moisture and temperature, to estimate the variations in these factors according to its texture, in a semiarid- semiwarm climate at the Jalisco state, Mexico.

The model used is based on soil moisture and temperature regimes proposed by Soil Taxonomy (USDA, 2006), and includes attempts subdivisions moisture regimes. Three experimental sites were established in the valleys of San Isidro Mazatepec and Zapopan, describing three soil profiles representative, his sampling horizons which allow classification according to morphology and taxonomy cited, resulting that clayey soils are Ustic Endoaquerts, the loamy soils are Haplic Ustarents and sandy texture correspond to Udic Ustifluvents, in which they were taken weekly data of temperature and moisture content in the Section of Soil Moisture Control (SMC), this information is compared with moisture balances generated by the simulation model and determined the need for adjustments to the model to achieve a more accurate predictive value.

In the above comparison, it is concluded that the simulation model by using 200 mm of water stored in the calculation of moisture regimes, generally overestimate the availability of water in the SMCS; so by version 1.6 of the model Newhall ( 2010 ) it was adjusted and calibrated moisture levels for three different soil texture. For Ustarents Haplic soil, the model underestimate and predicts moisture reserves partially in the SMC, because the content of pumicite (jal), allows the SMC half remain wet until starting again the rainy season. With the simulation model calibrated, temperature data projected for the 2050's, in order to estimate the effect of climate change on clay and sandy soils of central Jalisco. By using geographic information systems, databases were created to edit the thematic mapping of moisture and temperature regimes and the distribution of soils classified in the valleys mentioned.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la república Mexicana, el 80% de la tierra cultivable es de secano o temporal (Ortiz, 1984) y en zonas áridas y semiáridas presenta generalmente déficit de agua para los cultivos, esta condición obliga a la generación y almacenamiento de información suficiente y eficiente en lo que corresponde a la disponibilidad de humedad y temperatura de los suelos para las plantas cultivadas. La limitada información de que se dispone, afecta también aspectos técnicos como la clasificación de los suelos (que a su vez tiene un uso práctico en la producción agropecuaria) así como las interpretaciones acerca del cambio climático (Zarazúa, 2011) y su efecto en la producción agropecuaria y forestal. Del mismo modo, las condiciones hidrotérmicas del suelo afectan los tipos de vegetación de cada región, lo que implica afectaciones en las condiciones hidrológicas de las cuencas y su estabilidad ecológica. Es vital el conocimiento de las características de los suelos, generando bases de datos y cartografía especializada, con el fin de establecer programas de producción adecuados y la toma de decisiones correctas, considerando la conservación y manejo sustentable de los recursos naturales, especialmente el suelo, cuya sustentabilidad sostenible depende del conocimiento y manejo del recurso y de la información generada para tal fin.

Respecto del cambio climático, fenómeno reconocido mundialmente, tiene su efecto en la república Mexicana, por lo que las autoridades en la materia (INE, SEMARNAT, universidades, etc.) documentan sobre el riesgo, vulnerabilidad y amenazas climáticas en el país; reconociendo la limitación respecto del cambio climático a nivel regional (INE-SEMARNAT, 2006), por la escasez de investigaciones puntuales, siendo éste un campo poco explorado actualmente en la entidad. Uno de los problemas de importancia en el estado de Jalisco es la baja disponibilidad de agua para los diferentes sectores productivos y consumo humano, agravándose la situación al contar con grandes centros de población que demanda el vital líquido (CONAGUA, 2006); la proyección del cambio climático en Jalisco depara un futuro incierto, donde los escenarios muestran una disminución constante del 5 al 10% de las precipitaciones e incremento de las temperaturas de 0.4 °C hasta el 2020 e incrementos hasta de 4.0 °C en la década del 2080 (Conde *et al.*, 2006).

Es por ello que en este trabajo se aplica un modelo de simulación (Newhall, 2010), a partir de datos de temperatura y precipitación, ya que éste modela el movimiento del agua y la temperatura en el suelo, empleando subdivisiones tentativas de los regímenes de humedad y

temperatura definidos en la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006); la finalidad del modelo de simulación es representar las condiciones climáticas regionales y su variación anual. El modelo de simulación de Newhall, se propone como de uso universal (Newhall, 2010), no obstante que manifiesta limitaciones especialmente en cuanto a la forma de representar el suelo y su dinámica en el movimiento del agua a través del perfil (Van Wambeke, 1978; Jarauta, 2006).

El modelo de simulación Newhall, ha sido ampliamente usado por la FAO en varias regiones del mundo (a escalas pequeñas), siendo su promotor principal Armand Van Wambke (USDA, 1972; Sud América, 1981; Africa, 1982; Asia, 1985; America Central, el Caribe y México, 1987); el modelo ha sido aplicado también en Panamá (Villareal, 1984); en España (Gasco e Ibañez, 1979; Elias e Ibañez, 1979; Ibañez y Gasco, 1983; Jarauta, 2006); y en Holanda (Kayahara *et al.*, 1996; Geoff y Klinka, 1996). Se ha empleado en México: Michoacán (Segura, 2003); Estado de México (Quevedo, 2005); Jalisco (Topete-Ángel, 2005); república Mexicana (Sánchez-Guzmán *et al.*, 2009). La aplicación del modelo ha dado resultados adecuados en la mayoría de las investigaciones, en casos específicos en que el suelo presenta variaciones como agrietamientos, suelos delgados o niveles freáticos elevados, el modelo tiende a sobrestimar la disponibilidad de agua en el suelo. Su uso en México ha sido limitado, debido en principio a su escasa difusión, a la aplicación especializada en clasificación de suelos y a la poca importancia que se la ha dado al estudio de los suelos en los últimos años, aún cuando las extintas Direcciones de Agrología y de Conservación del Suelo y del Agua son suplidas por el programa de Conservación y Uso Sustentable del Suelo y Agua (COUSSA).

Con la presente investigación, se pretende la calibración del modelo de simulación Newhall (V.1.6.2010) en suelos correspondientes a tres valles agrícolas del estado de Jalisco con características texturales distintas. Se considera que el modelo Newhall tiene potencial para representar adecuadamente las condiciones de temperatura y humedad del suelo, y de esta forma utilizar la información simulada por este modelo en clasificación taxonómica de suelos, en interpretaciones agroclimáticas y en la estimación del cambio climático regional, de tal forma que se prueba el modelo de simulación con datos de temperatura del suelo proyectados a la década del 2050, con el fin de estimar el efecto futuro del cambio climático sobre la temperatura de los suelos, la que influye grandemente en procesos de síntesis en el suelo y de germinación y desarrollo de cultivos.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. El suelo

El suelo es uno de los recursos naturales de mayor significancia en la vida del hombre, especialmente por su relación con el uso agrícola (Ortiz y Cuanalo, 1981) y con varios servicios económicos y culturales. Desde finales del siglo XIX, el suelo se ha considerado como un cuerpo natural e independiente, capaz de adquirir ciertas propiedades, de acuerdo a los procesos pedogenéticos que sobre él han actuado.

La palabra **suelo** (lat. Solum, tierra o parcela) indica diferentes cosas para distinta gente, puede considerarse como un cuerpo natural, como un sustrato para las plantas o simplemente como un lugar donde se construyen casas, industrias, carreteras, etc. El primer concepto es de mayor importancia para los pedólogos, ya que representa la unidad básica de estudio; mientras que los otros dos significados son un tanto utilitarios (Yaalon y Arnold, 2000).

En 1879, Dokuchaev citado por Joffe (1949), señala que “Los Suelos son las capas superficiales de material mineral y orgánico, siempre más o menos coloreadas por el humus, el cual se manifiesta constantemente como un resultado de la actividad combinada de los siguientes agentes: organismos vivos y muertos (plantas y animales), material parental, clima y relieve; obviamente implica el tiempo como agente pasivo en los diferentes procesos de formación del suelo”.

Se define al suelo como: “cuerpo natural de constituyentes orgánicos y minerales, diferenciado en horizontes, de profundidad variable, el cual difiere del material subyacente en morfología, apariencia física, propiedades y composición química y características biológicas” (Joffe, 1949).

En la actualidad, se define al **suelo** como “un cuerpo natural formado por sólidos (material mineral y materia orgánica), líquidos y gases, que ocurren sobre la superficie de la tierra, que ocupan un lugar en el espacio y que presentan una o ambas de las siguientes características: horizontes o capas, que se diferencian del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia; o, por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un ambiente natural” (Soil Survey Staff, 1993). Esta definición es más amplia que la propuesta en la versión 1975 de la Taxonomía Americana de Suelos (Soil Taxonomy) para poder incluir a los suelos de las áreas de la Antártica, donde ocurre la pedogénesis, pero el clima es muy severo para permitir el soporte de las plantas superiores.

En el caso de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (ISRIC-FAO, 1998), el suelo se define por los procesos de formación que en él ocurren y que dan como resultado la formación de horizontes; el soportar plantas es una habilidad y el clima no se toma en cuenta, por lo cual no se consideran en la definición.

## **2.2. Perfil y Horizontes del Suelo**

### **2.2.1. El Perfil del Suelo**

Como se ha manifestado, desde finales del siglo XIX, el suelo se ha considerado como un cuerpo natural independiente y capaz de adquirir ciertas propiedades, de acuerdo a los procesos pedogenéticos que sobre él han actuado; la mayoría de los científicos en esta área manifiestan la importancia de las características y propiedades morfológicas del suelo, así como de su diferenciación en niveles y horizontes; lo anterior confirma el principio de que un sistema natural de clasificación para una población de individuos suelos u otros materiales, debe estar basada y fundamentada en las características de los objetos a clasificar (USDA, 1975).

Este principio fundamental señala que la clasificación de suelos debe basarse estrictamente sobre las características del mismo, y no de una manera indirecta sobre inferencias, lo cual no significa que se sacrifique el carácter genético de la ciencia, substituyéndolo por un enfoque eminentemente morfológico, ya que cualquier característica o propiedad adquirida por el suelo, no es otra cosa que el efecto de una causalidad, la cual denominamos como proceso pedogenético. Por consiguiente, se establece que, el perfil del suelo es la mejor y más conveniente expresión de las propiedades y características del mismo y el método más efectivo para describir, diferenciar y caracterizar los suelos, y además, debe fundamentarse en estudios de suelos en el lugar, así como las relaciones entre unos y otros y con el resto del paisaje (Joffe, 1949). Por otra parte se establece que (Marbut, 1923) “las formas en las cuales aparecen y fluctúan las características morfológicas del perfil, determinan similitudes y diferencias en los suelos, proporcionando las bases para clasificarlos”.

Dicho de otro modo, el perfil del suelo, representa una exposición vertical de una porción de la corteza terrestre en la cual se manifiestan desde la superficie del suelo hasta la zona aun intacta del material parental, los procesos de descomposición, migración, acumulación y transformación, provocando la diferenciación de capas horizontales, que se distinguen y

diferencian en principio por sus características morfológicas, y posteriormente por sus particularidades químico-biológicas; de este modo, forman cada una un horizonte.

El perfil del suelo está considerado como la unidad pedológica de estudio por excelencia siempre y cuando, la unidad seleccionada contenga el material suficientemente representativo de las características generales de un área o zona determinada, para poderlo caracterizar de una manera exacta, tanto en campo como en el laboratorio.

El perfil del suelo se puede tipificar según su modo de formación, así como también por su intensidad o grado de evolución (Miramontes *et al.*, 1987) y se proponen las siguientes definiciones sobre los perfiles de suelos:

Por su modo de formación un suelo es “***In situ* o Endógeno**”, cuando éste se ha formado en el propio lugar, a partir de la roca madre que se encuentra en su base. Se dice que el suelo es “**Exógeno**” cuando la roca subyacente no ha suministrado los elementos del suelo. Es decir, cuando el suelo está formado o en formación, a partir de materiales redepositados.

Por su grado de evolución, el perfil del suelo puede ser simple, complejo, truncado o policíclico. Un **perfil es simple** cuando, como resultado de la evolución existe una manifestación simple en los horizontes del suelo que de inmediato nos ubica en la dinámica del proceso fundamental pedogenético. Es **complejo un perfil**, cuando se manifiesta en él una serie de horizontes y subhorizontes diferentes, pero correlacionados entre sí, como resultado de la actividad de los procesos pedogenéticos fundamentales. Los **perfiles truncados** son aquellos, en los cuales, por un proceso de adición, ya sea volcánico, fluvial o coluvial interrumpe la evolución de un suelo, sepultándolo ó bien, a la inversa, cuando un suelo formado o en formación sufre un proceso de pérdida por erosión, por lo que se tiene un perfil decapitado. Se dice que un **perfil es policíclico** cuando en el suelo, se han desarrollado varias fases de evolución superpuestas. Estas fases evolutivas pueden ser el resultado de procesos diferentes, ya sean climáticos, mecánicos o biológicos (Buol *et al.*, 1981).

### **2.2.2. Horizontes del Suelo**

El estudio del perfil del suelo, consiste principalmente en la descripción precisa de sus horizontes y el correspondiente análisis entre éstos. Se define al horizonte del suelo como una capa de suelo aproximadamente paralela a la superficie del mismo y que posee características

y propiedades resultantes de los procesos formadores del suelo pero que son distintas de las capas adyacentes (Soil Survey Staff, 1993).

Un horizonte del suelo se diferencia de sus adyacentes al menos parcialmente, por sus características, que pueden ser observables y medibles. De acuerdo a esto último, todos los horizontes del perfil del suelo se identifican considerando, por una parte, su morfología, y por otra, las propiedades de los horizontes subyacentes y suprayacentes a él (Peña, 1974); por lo tanto, para la identificación correcta de los horizontes, se requiere de mediciones tanto de campo como de laboratorio, por lo que son actividades complementarias y no mutuamente excluyentes, del mismo modo, Peña (1974) señala que se requiere del empleo de los sentidos humanos (oído, olfato, gusto, tacto y vista) en la descripción morfológica del perfil de suelo.

#### - Horizontes Principales o Genéticos

Para la designación de los horizontes del suelo se emplea una simbología de uso común, y que además es de fácil comprensión y retención por parte del clasificador. La simbología está formada por letras mayúsculas y minúsculas, así como de números arábigos y romanos. Cada uno de estos símbolos representa ciertos procesos generales y particulares de formación y evolución del suelo.

En la nomenclatura de horizontes y para su designación completa, se toma como base el sistema ABC y se consideran los horizontes principales, horizontes secundarios o de transición, subdivisiones verticales del horizonte principal, características subordinadas de los horizontes principales y cambios bruscos en la constitución mineralógica. Son dos las nomenclaturas de mayor uso en la designación de horizontes, el “Manual de Levantamientos de Suelos” (Soil Survey Manual No. 18), editado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1993) y el documento editado por la FAO “Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos” (FAO/UNESCO, 1973); ambas son de uso común en México en las descripciones de perfiles de suelos. En el Cuadro 1 se expone un ejemplo de horizontes genéticos y capas del suelo, descritos en el Manual No 18:

**Cuadro 1. Horizontes genéticos y capas del suelo.**

Horizontes Principales	Horizontes Secundarios	Subdivisiones Verticales	Características Subordinadas	Discontinuidades Litológicas	
Orgánicos			a b c d e f g h i k m n o p q r s ss t v w, x, y, z	Ejemplo:	
O					
O1					
O2					
Minerales					
A					
A1					A11
A2					A12
					A3
					AB
	AC				
E	EB, BE				
B					
	BA				
	B1				
B2		B21			
	B3	B22			
	BC				
C	C1				
	C2				
R	Cn				

- Horizontes de Diagnóstico

Una vez definidos los horizontes genéticos del suelo y con fines de clasificación taxonómica, es necesario emplear las definiciones de los horizontes de diagnóstico, cuya nomenclatura es más cuantitativa y es definida en la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006). En el Cuadro 2 se resume la descripción de los horizontes de diagnóstico de acuerdo con la clasificación americana.

En la descripción de un perfil de suelo, se requiere del empleo de la morfología de suelos, el término morfología fue introducido por Goethe en 1817 (Sánchez-Meca, 1997), en su obra Teoría de la Naturaleza; rápidamente el término fue adoptado en morfología de suelos por investigadores como Dokuchaev, Zakarov, Glinka, Marbut y muchos otros reseñados en la obra Pedology (Joffe, 1949). La morfología es un arte que requiere de la observación aguda y habilidad para describir y registrar con palabras y esquemas un objeto estudiado. Conforme al Manual de Levantamientos de Suelos Núm. 18 (USDA, 1993), “La morfología de suelos proporciona una base firme en la cual agrupa los resultados de observaciones, experimentos y

experiencia práctica y para el desarrollo de principios integrados que predicen el comportamiento de los suelos”.

**Cuadro 2. Horizontes de Diagnóstico.**

Horizontes Principales	Epipedones ó Superficiales	Subsuperficiales Suelos Minerales	Características Macropedológicas
Orgánicos	Fábrico		Condiciones Acuicas Crioturbación Material Dénstico Material Gélico Capa Glásica Contacto Lítico Contacto Paralítico Permafrost
	Hémico		
	Sáprico		
	Humilúvico		
	Límnico		
	Tierra Coprogénica		
	Tierra de Diatomeas		
	Margas		
Minerales	Antrópico	Agrico	
	Folístico	Albico	
	Hístico	Argílico	
	Melánico	Cálcico	
	Mólico	Cámbico	
	Ocrico	Duripán	
	Plaggen	Fragipán	
Umbrico	Glóssico		
		Gypsico	
		Kándico	
		Nátrico	
		Orstein	
		Oxico	
		Petrocálcico	
		Petrogypsico	
		Plácico	
		Sálico	
		Sómbrico	
		Espódico	

En resumen se puede señalar que la morfología de suelos significa la descripción del cuerpo de suelo, su apariencia, formas y características generales expresadas en función del perfil de un suelo, que expone la constitución del pedón.

## 2.3. El Agua y la Temperatura en el Suelo

### 2.3.1. El agua en el suelo

Las plantas superiores requieren como elementos vitales el agua y el gas carbónico, que cumplen procesos fundamentales en la fotosíntesis y en la formación de materia orgánica.

Chang (1974) comenta sobre la relación del agua con el crecimiento de las plantas, señalando la adaptación y distribución de los cultivos dentro de varios regímenes de humedad; haciendo

énfasis en la necesidad de entender las diferentes respuestas fisiológicas de la planta al agua. Señala que en experimentos con diferentes cultivos anuales y frutales, la fotosíntesis es afectada ligera hasta fuertemente cuando la humedad del suelo decrece o se acerca al punto de marchitez permanente, o caso contrario, si el contenido de humedad del suelo es muy alto.

El agua es uno de los tres componentes del suelo, junto con la parte sólida y gaseosa y es factor principal en la formación del mismo; también influye en su fertilidad, en la velocidad de erosión de las rocas y superficie terrestre, en la intensidad de los procesos físicos, químicos y biológicos que se presentan. Además, la humedad influye en la formación de su estructura, en las propiedades físico-mecánicas y al estar en movimiento por el suelo, transporta sustancias disueltas y en suspensión. La humedad es necesaria para la actividad vital de los microorganismos que a su vez influyen en la formación de los suelos (Aidarov *et al.*, 1985).

El agua en las plantas constituye entre 80 y 90% y el agua que hay en el suelo disuelve las sustancias nutritivas y con ello garantiza la alimentación mineral de las plantas (Quevedo, 2005). De la cantidad de humedad depende la concentración de las soluciones en el suelo y por consiguiente, la accesibilidad de las sustancias nutritivas para las plantas. Las plantas en el suelo, al transpirar una gran cantidad de humedad, liberan energía y regulan la temperatura, en el período caluroso del año. Además, al regular la cantidad de agua en el suelo, se lleva a cabo un mejoramiento hídrico, y es posible manejar con relativa facilidad varias propiedades del suelo (Aidarov, 2005).

Rucks *et al.* (2004), señalaron respecto de la humedad en el suelo, que el calor específico del agua es de una caloría por gramo, o por centímetro cúbico; es cinco veces más elevado que la media del calor específico de los agregados del suelo. Así, el agua se calienta más lentamente que el suelo, y éste se calienta mucho más lentamente a mayor contenido de humedad. Por una parte en las capas superficiales, una parte de calor recibida por el suelo se utiliza para evaporar el agua; pero por la otra, la conductividad del suelo para el calor, es mayor que la del aire y el calor tiende a transmitir mejor, si en los poros del suelo la proporción del agua es mayor que la del aire. En resumen, todo el cambio del estado del suelo (Condensación, evaporación, solidificación, fusión) repercute sobre su temperatura y amortigua la amplitud de sus oscilaciones. De este modo, en el calentamiento del suelo, la humedad juega un papel más determinante que las texturas.

De todos modos, los efectos de los dos factores se suman en los suelos arenosos, que como se sabe, tienen la capacidad de retención más baja. También se comprenderá como al reducir la humedad de las tierras, el drenaje les permite calentarse más rápidamente en primavera y asegurar así un mejor estímulo en el desarrollo vegetativo.

### **2.3.2. La Temperatura en el Suelo**

La temperatura y la humedad son de gran importancia en los procesos de formación de los suelos, ya que influyen en los procesos de intemperismo sobre los materiales geológicos y a su vez en el desarrollo y evolución de los suelos; estos elementos del clima, son responsables de la distribución de las especies vegetales y su diversidad en el mundo.

Chang (1974) menciona que la temperatura del suelo es de gran significancia ecológica para la vida de las plantas tanto como la temperatura del aire, especialmente en lo concerniente a la agricultura. La temperatura del suelo, muestra mayor respuesta a los efectos locales de la insolación, topografía y puede diferir ampliamente de la temperatura del aire. Señala que la temperatura del suelo, especialmente las extremas, influyen la germinación de semillas, la actividad funcional de las raíces, la cantidad y duración del crecimiento vegetal y la ocurrencia y severidad de enfermedades en las plantas.

De Fina y Ravelo (1975) establecen que la temperatura del aire es de suma importancia, ya que es causa principal de fenómenos meteorológicos; y es vital para los cultivos ya que gran parte de los fenómenos fisiológicos de los vegetales son fuertemente influidos por ésta. Especifican que todo fenómeno es posible dentro de ciertos rangos de temperatura, especialmente en los cultivos que requieren de temperaturas óptimas para cumplir su ciclo fenológico. Así mismo señalan que la temperatura es uno de los factores de importancia en la propagación y desarrollo de plagas y enfermedades en los vegetales.

Según De Fina y Ravelo (1975), debido al íntimo contacto entre las raíces y el suelo, la temperatura de éste afecta los procesos fisiológicos que tienen lugar en la parte subterránea de las plantas. Las temperaturas altas y bajas del suelo, afectan la absorción de nutrientes del suelo y la transpiración; la temperatura del suelo regula la actividad microbiana induciendo la aportación de nutrientes o favoreciendo procesos patógenos en las plantas.

Ortiz (1982) señala que a la temperatura se le ha considerado como la esencia del clima y posiblemente el elemento más estudiado y de la que mejor se conocen sus efectos en el

desarrollo de las plantas. Menciona que la mayoría de los procesos fisiológicos que intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, son influenciados sustancialmente por la temperatura, controlando las reacciones químicas, la solubilidad de minerales, la absorción de agua, nutrientes y gases por la planta.

Castaños (1991) menciona que de los factores climáticos de mayor importancia, la temperatura y la precipitación, son primordiales en la adaptación y distribución, tanto en tiempo como en espacio de los cultivos. Así mismo señala para México tres divisiones climáticas respecto del nivel del mar: Tropical caliente a alturas inferiores a 1,500 m; Tropical templado a elevaciones entre 1,500 y 3,000 m y; Tropical frío a alturas mayores a 3,000 m; por lo que en Jalisco solo se presentan las dos primeras (Ortiz-Solorio, 1987); no menciona la condición de subtropical en el documento para el estado de Jalisco.

Rucks *et al.* (2004), citan que se puede considerar el ritmo diario y anual de las oscilaciones de la temperatura del suelo y la representación de esas oscilaciones en las capas profundas. Para un suelo dado y en superficie, la oscilación diurna depende de la radiación solar y de la irradiación nocturna; la temperatura mínima se observa algunos instantes después de la salida del sol, y la máxima una hora después del cenit del sol, o sea a las 13:00 horas.

Se registran en ciertos casos, en la superficie del suelo, temperaturas superiores a las del aire ambiente; la máxima parece haber sido registrada en Java:80°C, varios observadores han indicado 70°C (En Pusa, en la India, en la costa de Marfil y en EE.UU. en Arizona); en Arizona se han notado las temperaturas siguientes: Un metro sobre el suelo 44°C, al ras del suelo 50°C, en la capa superficial 50°C y a 10 cm de profundidad 35°C (Rucks *et al.*, 2004).

Si consideramos que 70°C, representa la temperatura de la pasteurización, entonces en las regiones tropicales y subtropicales donde se registran a veces temperaturas de ese orden, no es de extrañar que se constata un debilitamiento de la actividad de los microorganismos en las capas superficiales del suelo, sobre todo porque la radiación ultravioleta agrega además sus efectos específicos. Después de algunas semanas de insolación ardiente, se observa que la población microbiana se puede reducir en un 90% (Adekalu *et al.*, 2007). En el lado opuesto y también en las condiciones extremas, se observa que el rigor del enfriamiento y el hielo que provoca, se mide en la progresión del frío en profundidad, para las temperaturas inferiores a 0°C.

Siempre para un suelo determinado y en superficie, la oscilación anual depende de las condiciones meteorológicas del año; las temperaturas máximas y mínimas están ligeramente desplazadas en relación a los periodos más calurosos y más fríos del año (Hossne *et al.*, 2009).

## **2.4. Métodos de estimación de la humedad y temperatura del suelo**

### **2.4.1. Estimación de la Humedad del Suelo**

#### **2.4.1.1. Métodos Directos**

##### **Lisímetros**

Un **lisímetro** es un dispositivo introducido en el suelo, relleno con el mismo terreno del lugar y con vegetación. Es utilizado para medir la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) o del cultivo (ET<sub>c</sub>). También se denomina evapotranspirómetro dependiendo de que manera se haya hecho el procedimiento de medida. La medida de la evapotranspiración es determinada por el balance hídrico de los dispositivos. Normalmente hay una balanza en el fondo del lisímetro donde se puede determinar la cantidad de agua que se va evapotranspirando en el sistema (Khan *et al.*, 1988).

El principal problema es la complicación y el precio de estos sistemas, la destrucción de la estructura y los flujos preferenciales de agua al instalar los sistemas y la gran variabilidad espacial de los procesos que afectan el movimiento de agua en el suelo; debido a esto, hay que ser muy cauto a la hora de extrapolar medidas puntuales.

##### **Dispensor de Neutrones**

Los aspersores de neutrones han sido ampliamente usados para la medición precisa de la humedad del suelo con propósitos de calibración de modelos de programación del riego o para su utilización directa en el cálculo de volúmenes de riego. A pesar de la importancia de tales mediciones, su uso es muy limitado debido a que estos métodos afrontan serios problemas (elevados costos, así como su severa reglamentación, entre otros) que dificultan su generalización.

Aplicando un dispensor de neutrones marca SOL0'5, se realizó la caracterización hidrodinámica del suelo en una región del Bolsón de Mapimí (Reyes *et al.*, 1996). La calibración del dispensor de neutrones se realizó de forma gravimétrica y las mediciones realizadas con este método generalmente son puntuales y discontinuas.

### **Reflectometría (TDR)**

Un TDR emite un pulso muy corto en el tiempo, si el conductor es de una impedancia uniforme y está propiamente terminado, el pulso transmitido se absorberá en la terminación final y no se reflejará ninguna señal de vuelta hacia el TDR; en cambio, si existen discontinuidades de impedancia, cada discontinuidad creará un eco que se reflejará hacia el TDR (de ahí su nombre). Los aumentos en la impedancia crean un eco que refuerza el pulso original, mientras que las disminuciones en la impedancia crean un eco que se opone al pulso original. El resultado del pulso medido en la salida/entrada al TDR se representa o muestra como una función del tiempo y, dado que la velocidad de la propagación de la señal es relativamente constante para una impedancia dada, puede ser leído como una función de la longitud de cable, esto es semejante en su funcionamiento al del radar.

Por muchos años se ha requerido la medición no destructiva del contenido de agua del suelo y la conductividad eléctrica (Noborio, 2001), el autor cita que recientes desarrollos en la reflectometría en tiempo de dominio (Time Domain Reflectometry en inglés) proporciona capacidad para obtener simultáneamente el contenido de agua en el suelo y la conductividad eléctrica empleando una simple prueba con mínimo disturbio del suelo. Este autor ha realizado investigaciones sobre el agua y transporte de solutos en poros mediante el empleo de TDR, especialmente con referencia al movimiento de agroquímicos que contaminan las aguas subterráneas.

El conocimiento de la variación de la humedad del suelo es esencial para determinar la evapotranspiración real de los cultivos y con ésta, a su vez, permitir conocer las cantidades necesarias de agua de riego (Quiñones *et al.*, 2002). La reflectometría en el dominio temporal (TDR) se presenta como una alternativa viable a tales métodos por su precisión y por la continuidad de las mediciones. Se pone de manifiesto la limitación del aspensor de neutrones por la discontinuidad de las mediciones, en contraste con la continuidad del TDR, que permite el análisis detallado de los fenómenos de infiltración y evapotranspiración a escalas instantáneas de tiempo.

### **Sensores de humedad**

Para la medición del grado de humedecimiento del suelo, se utilizan tensiómetros y bloques de yeso; los primeros trabajan con la succión del suelo y son sistemas saturados que drenan el

contenido de agua de su cilindro, por medio de una membrana capilar, donde el suelo extrae la humedad según el grado de evapotranspiración de éste (Ekanayake, 1994).

Los sensores con placas de yeso, trabajan por medio de resistencia eléctrica y están en contacto con el suelo; conforme el suelo pase de saturado a seco, la cantidad de resistencia eléctrica va disminuyendo, dato que es monitoreado para determinar las gráficas de humedecimiento-secado del suelo muestreado (Delmhorst, 2008).

Ambos equipos son empleados para definir los regímenes de humedad del suelo y para determinar, en su caso, los periodos de riego a realizar. En el caso de la determinación del régimen de humedad del suelo, se insertan los equipos en los límites inferior y superior de la SCHS del suelo y se toman lecturas semanales, quincenales o en el periodo que convenga para la determinación; son de bajo costo y muy exactos, el problema es el costo de traslado y monitoreo por personal técnico capacitado.

#### **2.4.1.2. Métodos Indirectos**

Generalmente los métodos indirectos son mucho menos costosos que los directos, pero tienen como limitante la precisión de las estimaciones realizadas, variando los resultados desde poco exactos a muy exactos; esta exactitud depende por lo regular de la cantidad de datos empleados y del número de variables empleadas en cada ecuación propuesta.

A mayor número de variables usadas, mayor es la exactitud y la complejidad de la ecuación así como la interpretación de los resultados obtenidos; esto resulta en ocasiones en métodos imprácticos o de dudosa aplicación. De los métodos más comunes, son los balances de humedad con tres o cuatro variables, como ejemplo se tiene:

#### **Funciones de Pedotransferencia**

Las funciones utilizadas se pueden agrupar en aquéllas que no emplean valores conocidos de la curva de retención de humedad y aquellas que utilizan uno o dos valores conocidos de la curva. Se comparan cinco funciones de pedotransferencia, en tres de ellas no cuentan con valores de la curva de tensión de humedad y en dos de éstas emplean los límites de Capacidad de Campo (CC.-  $\theta_{33}$ ) y Punto de marchitez permanente (PMP.-  $\theta_{1500}$ ) (Bonilla y Cancino, 2000).

Las ecuaciones empleadas son las propuestas por otros investigadores (Rawls *et al.*, 1982 y 1983) y las propuestas por Gupta y Larson (1979), empleando variables del suelo:

$$\theta_{x \text{ est}} = a + b \text{ arena (\%)} + c \text{ limo (\%)} + d \text{ arcilla (\%)} \\ + f \text{ densidad aparente (gr/cm}^3\text{)} + g \theta_{33} + i \theta_{1500}$$

Donde:

$\theta_{x \text{ est}}$ .- Contenido de humedad estimado ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) para una tensión dada (x).  
a, b, c, d, e, f, g, h, i son coeficientes de regresión para cada variable señalada.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, las funciones de pedotransferencia surgen como una alternativa interesante para la caracterización hidrodinámica de suelos, particularmente para el empleo de modelos de simulación hidrológica y transporte de contaminantes a nivel de grandes cuencas hidrográficas. A la vez, se plantea la necesidad de seguir evaluando su comportamiento en distintos sistemas edáficos.

### **Función de la Evaporación del Suelo**

Este método emplea el balance de humedad en el que la evaporación del suelo ( $E_s$ ) es un componente importante de la evapotranspiración de los cultivos (Allen *et al.*, 1998), especialmente cuando la cobertura del suelo no es completa, esto es que el follaje no cubre por completo al suelo; luego entonces la evaporación del suelo varía de acuerdo con la cobertura del follaje, la humedad superficial del suelo, la cubierta del suelo (rastrajo, herbáceas, etc.) y la demanda ambiental.

De acuerdo con investigaciones recientes (Caviglia y Sadras, 2006), después de humedecido el suelo por una lluvia o lámina de riego, la  $E_s$  pasa por dos fases bien definidas: La primera fase se caracteriza por la rapidez del proceso que es regulado por la demanda ambiental, mientras que la segunda fase esta regulada por la disponibilidad de agua, por lo que la  $E_s$  se reduce rápidamente. La ecuación empleada se muestra a continuación:

$$ET_c = (K_{cb} + K_s) ET_o$$

$ET_c$ .- Evaporación de cultivo, condiciones estándar.

$ET_o$ .- Evaporación del cultivo de referencia.

$K_{cb}$ .- Coeficiente de crecimiento del cultivo.

$K_s$ .- Coeficiente de la humedad del suelo.

Para la aplicación de este método son necesarias la estimación de la cobertura vegetal ( $f_c$ ), la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) y las precipitaciones; además de las constantes de

suelo (p. e. REW,  $h_g$  a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente). La ventaja de este método es que se basa en relaciones mecánicas más que empíricas lo que permite una fácil discriminación de la lámina diaria evaporada de la transpirada por el cultivo.

## **2.4.2. Estimación de la Temperatura del Suelo**

### **2.4.2.1. Métodos Directos**

#### **Termómetros de suelo**

Termómetro de lectura directa constituido por una bayoneta de acero o plástico y carátula de lectura, con rango regularmente de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Los termómetros digitales constan de una sonda sensor, cable y cuerpo digital para lecturas de temperatura del suelo. Miden rangos de temperatura del suelo de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , según la localidad, los hay que miden temperaturas más bajas que  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; fáciles de leer porque cuentan con una pantalla digital que muestra la temperatura obtenida de la medición.

Termopar es un artefacto empleado para medir temperaturas con un sistema basado en la fuerza electromotriz, la cual se genera cuando se calienta la soldadura de dos metales distintos.

Geotermógrafo es un equipo registrador de temperatura del suelo.

### **2.4.2.2. Métodos Indirectos**

#### **Imágenes espectrales**

La temperatura de suelo se constituye en uno de los parámetros más relevantes en la estimación de diversas variables de interés ambiental, tales como la evapotranspiración, inercia térmica, entre otras (Parra *et al.*, 2006). En la práctica, la estimación de la temperatura de suelo es llevada a cabo mediante termómetros o termistores con la problemática asociada de un alto costo económico si se quieren cubrir extensas áreas geográficas. La solución a estos inconvenientes surge en la década de los años cincuenta con el desarrollo de la tecnología infrarroja y con su posterior utilización a bordo de satélites artificiales; desde el primero de ellos, el Television Infrared Operation Satellite (TIROS), hasta los actuales satélites de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) y Land Satellite (LANDSAT), que permiten el acceso de información de la superficie de la tierra a escala sinóptica. Los satélites empleados se clasifican en dos tipos: Geoestacionarios y Polar-Sincrónicos.

Satélite Meteorológico Geoestacionario - se caracterizan por permanecer sobre un punto fijo con respecto a la superficie terrestre y una distancia aproximada de 36,000 km de altura. Las imágenes que proporcionan estos satélites tienen una frecuencia de 30 minutos y su resolución espacial va desde 8 hasta 1 Km. De este tipo de satélites es el GOES 8, el cual cubre a toda Centroamérica.

Satélite Meteorológico Polar-Sincrónico - Estos satélites tienen órbitas de giro alrededor de la tierra con dirección casi paralela a los meridianos; es decir, recorren el planeta de polo a polo. Su órbita descendente es norte-sur en la mitad hemisférica iluminada por el sol; por el contrario, ascienden de sur a norte en la zona oscura. El tiempo aproximado en completar una vuelta es de 12 horas, por lo que completan dos ciclos en un día. Su altura aproximada es de 850 km y su resolución espacial es mucho más fina que la de los geoestacionarios.

## **2.5. Modelos de simulación de balances humedad/temperatura**

Un **modelo** se construye para conocer o predecir propiedades del objeto real, a partir de algunas de sus propiedades (Ríos, 1995):

*“Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utilizan para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica”*

Para que los modelos puedan expresar algo sobre el objeto que representan, se deben construir a partir de relaciones con la realidad que debe ser simétrica, lo que implica que la relación de correspondencia entre el objeto real y el modelo debe ser al menos parcialmente reversible, debiendo permitir la traducción de algunas propiedades del modelo a la realidad. En los trabajos sobre humedad y temperatura del suelo, se emplean *modelos simbólicos* que se forman mediante reglas abstractas, ya que el modelo real se representa mediante la codificación matemática, geométrica, estadística, etc.

**Simulación**, es reproducir artificialmente un fenómeno o las relaciones entrada–salida de un sistema; esto ocurre siempre cuando la operación de un sistema o la experimentación en él son imposibles, costosas, peligrosas o poco prácticas, como en el entrenamiento de personal de operación, pilotos de aviones, etc. La simulación es una técnica muy poderosa y ampliamente usada en las ciencias para analizar y estudiar sistemas complejos (Izquierdo *et al.*, 1995).

### **2.5.1. Modelo de Simulación Dinámica**

Un modelo de simulación dinámica representa a un sistema en el que el tiempo es una variable de interés, como por ejemplo en el sistema de transporte de materiales dentro de una fábrica, una torre de enfriamiento de una central termoeléctrica, el balance hídrico del suelo a través del año, etc. Este tipo de modelos de simulación, se clasifican también como modelos *estocásticos*, debido a las variables aleatorias que emplean (Marruedo, 2009).

Los modelos de simulación que calculan el balance de humedad, realizados por diferentes investigadores, toman en consideración algunas características físicas del suelo y en otros casos, características fenológicas y las necesidades de agua de los cultivos a través de todo su ciclo. Así tenemos un historial importante acerca del balance de humedad realizado a través de diferentes métodos, entre los más conocidos tenemos:

#### **2.5.1.1. Balance hídrico de Thornthwaite**

Thornthwaite (1948), es considerado como uno de los pioneros en el campo de la agroclimatología, ya que su método para caracterizar el clima de una región se basa fundamentalmente en un balance hidrotérmico, típico de una región dedicada a fines agropecuarios; toma como datos base las temperaturas y precipitaciones mensuales y anuales y establece un balance hidrotérmico en un perfil hipotético de suelo, en el que estima la evapotranspiración potencial mensual y anual a partir de ajustes de la concentración de calor por efectos de la latitud. Adicionalmente estima entradas y salidas de agua en la sección de control de humedad con capacidad para almacenar una lámina de 100 mm de agua infiltrada; los movimientos de humedad en esta sección, la relación pluvial y la escorrentía superficial.

El autor considera también los fundamentos propuestos por DeMartone (1926), quien define las regiones climáticas en función de la distribución de los tipos de vegetación, adicionando datos hidrológicos y de suelos que complementan la localización y definición de los límites climáticos.

#### **2.5.1.2. CERES para simular perfiles de humedad del suelo**

Quemada (1999), estudió la capacidad del modelo CERES para simular los perfiles de humedad y concentración de nitratos recogidos durante un ciclo de cultivo de trigo en Arazuri, Navarra. El modelo CERES predice razonablemente bien los perfiles de humedad de los suelos; sin embargo, mientras que simuló adecuadamente los perfiles de contenido de nitratos

del testigo, no ocurrió lo mismo en los tratamientos con fertilización nitrogenada donde los perfiles de nitratos simulados se ajustaron peor a los observados.

CERES es un modelo unidimensional diseñado para estudiar el balance de agua y los ciclos de C y N en secciones verticales de un sistema de cultivo. Incluye submodelos que simulan el balance de agua, ciclos de C y N en el suelo, transporte de nitratos y crecimiento del cultivo utilizando un paso temporal de 1 día. El submodelo de balance de agua divide el suelo en una serie de horizontes homogéneos (hasta 10), estando cada uno de ellos caracterizado por su contenido de agua de saturación, capacidad de campo y punto de marchitez. La cantidad de agua infiltrada se calcula como la diferencia entre el agua aportada (lluvia o riego) y la de escorrentía, calculada mediante el método del número de curva.

El movimiento descendente del agua en el suelo sigue un flujo de pistón, de forma que cuando la cantidad de agua de un horizonte es superior a su valor de capacidad de campo el agua sobrante pasa instantáneamente al horizonte inferior.

La evapotranspiración potencial se calcula a partir de datos diarios de radiación solar, y temperaturas máxima y mínima ambiental (Ritchie, 1972). La evapotranspiración real se obtiene modificando la potencial, según sea el desarrollo de área foliar, y la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales. Finalmente, la ascensión capilar de agua en el suelo se simula mediante una ecuación semiempírica.

### **2.5.1.3. Modelo simple de persistencia de herbicidas**

Fuentes et al (2000) proponen un modelo simple de persistencia de herbicidas en el suelo basado en una serie de modificaciones al modelo desarrollado por Walker y Barnes (1981). El modelo que se propone simula la degradación diaria de un herbicida en el suelo, a través del funcionamiento de tres submodelos: a) submodelo que estima la temperatura del suelo, b) submodelo del cálculo del contenido de humedad del suelo y c) submodelo que calcula la degradación del producto.

#### **a) Submodelo temperatura del suelo**

El modelo de Walker y Barnes (1981), propone una estimación de la temperatura del suelo a diferentes profundidades en función de las temperaturas máximas y mínimas del aire, asumiendo que existe una relación lineal de primer grado entre las temperaturas medias y amplitudes térmicas del aire y del suelo.

La validación realizada permitió concluir que es aceptable asumir una relación lineal de primer grado entre estas variables, solo cuando las temperaturas medias del aire sean iguales o inferiores a 12 °C y que considerar una relación lineal de segundo grado cuando las temperaturas del aire superen los 12 °C aumentaría la predicción del submodelo.

b) Submodelo contenido de humedad del suelo.

El modelo original de Walker y Barnes (1981), asume que el suelo tiene un perfil uniforme y que la acumulación de humedad no depende del subsuelo. El agua que entra al sistema proveniente de las lluvias, se suma al contenido de agua inicial del suelo hasta el límite de capacidad de campo; niveles superiores a este contenido de humedad son ignorados.

Las pérdidas de agua del suelo son calculadas por multiplicación de la evaporación de agua desde una superficie abierta por un factor que depende de la tensión por la cual es retenida el agua en el suelo. Las pérdidas diarias de humedad por evaporación del suelo se estiman a través de una serie de ecuaciones derivadas por Linacre (1977), las que permiten calcular la evaporación a través de las temperaturas máximas y mínimas diarias del aire, altitud y latitud del sitio. En este estudio se propone la ecuación que se muestra a continuación, que permitió una mejor estimación de la evaporación ( $r^2 = 0,982$ ) y que fue validada en las zonas agroecológicas de La Unión y Riñihue, ambas ubicadas en la Décima Región de Chile durante la temporada 1997.

$$Em = 1.48 + 0.25 * Ec$$

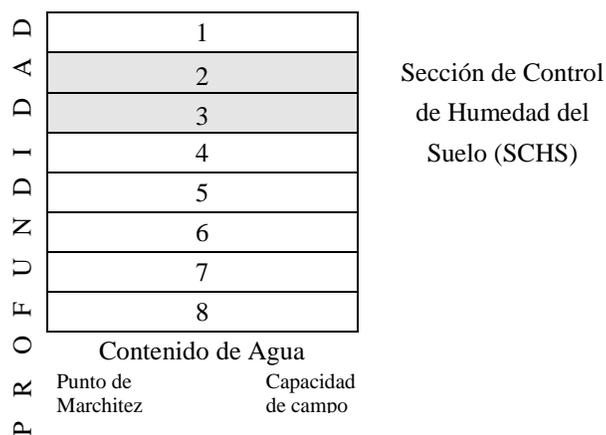
Donde:  $Em$  = evaporación medida en un evaporímetro de bandeja clase A (mm/día) y  
 $Ec$  = evaporación calculada usando las ecuaciones de Linacre (1977).

## **2.6. El Modelo de simulación Newhall (1972)**

### **2.6.1. El Perfil de Humedad del Suelo**

El perfil de humedad del suelo considerado por el modelo se extiende desde la superficie hasta una profundidad donde se tienen 200 mm de agua disponible a capacidad de campo (CC), es decir, el doble que el valor propuesto por C. W. Thornthwaite (100 mm). El perfil es dividido en ocho capas, de las cuales, cada una retiene 25 mm de agua disponible; la segunda y tercera capa forman la "sección de control de humedad" (Figura 1). Esta es definida como la capa que

tiene un límite superior a una profundidad a la cual un suelo seco, pero no seco al aire (a una tensión de más de 1500 kpa), puede ser humedecido por 25 mm de agua con movimiento descendente desde la superficie, en un periodo de 24 hrs. El límite inferior se localiza a una profundidad a la que el suelo seco puede ser humedecido por 75 mm de agua con movimiento descendente desde la superficie, en un periodo de 48 h (USDA, 2006). La Figura 1, representa un suelo donde el eje vertical indica la profundidad de las 8 capas y el eje horizontal mide los porcentajes de agua disponible presentes en cada una de ellas



**Figura 1. El perfil idealizado de humedad del suelo del modelo Newhall (1972).**

La tensión a la cual el agua es mantenida en el perfil decrece de izquierda (Punto de Marchitez Permanente, PMP) a derecha (Capacidad de Campo, CC). Cada capa puede ser dividida en ocho rendijas para formar una matriz cuadrada de 8 x 8 con 64 rendijas, este es designado como el “Diagrama de Humedad del Suelo” (Figura 2). Cada rendija puede llenarse con un valor correspondiente a una cantidad de agua que puede variar entre 0 y 1/64 parte del total de agua disponible a CC, o una lámina de 3.125 mm.

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

**Figura 2. Diagrama de humedad del suelo y secuencia de aberturas durante el incremento.**

### **2.6.2. Captación y Remoción de Agua**

El modelo simula “el movimiento descendente de humedad” dentro del suelo como el avance de un frente de mojado; posteriormente se le refiere como “humedecimiento o incremento”. La distancia en la que el frente de mojado se mueve hacia abajo, depende de la cantidad de agua necesaria para llevar a todo el suelo por arriba de la capacidad de campo.

Cuando el frente de humedecimiento alcanza el fondo del perfil y todo el suelo se encuentra arriba de la capacidad de campo, el exceso de agua se pierde ya sea por percolación o por escorrentía.

La cantidad de agua removida fuera del suelo, o “secado” depende de la energía disponible para la extracción de humedad, expresada en términos de la Evapotranspiración Potencial (ETP), la cual actúa en el suelo y las plantas que crecen en él. La energía requerida para remover humedad del suelo, depende de la cantidad de agua presente (CA) y la fuerza ejercida por el suelo para retenerla. El agua es removida más rápidamente cuando el agua del suelo se encuentra a bajas tensiones que cuando el contenido de agua en el perfil se encuentra al mínimo. El modelo usa menos energía para remover agua de las capas superiores de un suelo que de las capas más bajas. La profundidad a la cual se localiza la humedad del perfil, influye en el tiempo necesario para extraerla del suelo; esto corresponde igualmente con el hecho de que las raíces son más abundantes cerca de la superficie que en las capas más profundas.

La reducción continúa hasta que el suelo alcanza el punto de marchitez permanente, esto es cuando la tensión de humedad del suelo es de 1500 kPa. Se asume que la cantidad de agua retenida en el suelo no será reducida por debajo de la cantidad mantenida a 1500 kPa (Agua higroscópica).

### **2.6.3. Factores Climáticos**

#### Distribución de la Lluvia.

Se asume que la precipitación mensual (PM) se distribuye dentro de cada mes de acuerdo a la siguiente secuencia.

- a) La mitad de la precipitación mensual (PA precipitación alta) cae durante una tormenta a la mitad del mes; esta humedad entra al suelo inmediatamente sin pérdidas, excepto cuando excede la capacidad de agua disponible.

- b) La mitad de la precipitación mensual (PL precipitación ligera) ocurre en varias lluvias ligeras, y se pierde parcialmente por evapotranspiración antes que pueda entrar al suelo; puede infiltrarse al suelo solamente cuando la PL excede evapotranspiración potencial.

#### Evapotranspiración Potencial.

Se asume que la ETP se distribuye uniformemente a través de cada mes. No toda su energía es usada para la extracción del suelo. Una parte es empleada para disparar tanto como sea posible la precipitación ligera, antes de alcanzar el suelo. Si hay energía sobrante, es empleada para la extracción de agua del perfil.

#### **2.6.4. La Secuencia Espacio – Tiempo con el Modelo de Simulación Newhall**

En este método, todos los meses son de 30 días y cada mes es dividido en tres partes. La primera es un periodo de 15 días de lluvias ligeras (PL), la segunda es una tormenta (PA) que ocurre a media noche entre el 15avo y 16avo días del mes, y la tercera parte corresponde a otra quincena de lluvias ligeras (PL). Para cada uno de esos eventos el agua es tanto adicionada al suelo como extraída de éste. Al completarse cada etapa, se determina la condición de humedad del suelo y si esta etapa cambió, el modelo calcula el número de días durante los cuales prevaleció cada condición en la sección de control de humedad.

El inicio de la condición de humedad del suelo en el perfil, es determinado corriendo el programa de simulación para un número de repeticiones consecutivas usando cada vez el mismo gasto cada año hasta que el contenido de humedad para Diciembre 30, no difiera en más del uno por ciento del contenido encontrado en la misma fecha de la repetición inmediatamente anterior. El programa entonces inicia el proceso de diagnóstico de los datos mensuales, con una cantidad inicial de agua en cada rendija (64 ranuras), igual a la encontrada en Diciembre 30. Cuando todos los meses son procesados, las condiciones de humedad para cada día son combinadas en el calendario de la condición de humedad que forma la base de datos para la determinación del régimen de humedad del suelo de acuerdo con las definiciones de la Taxonomía de Suelos.

### **2.6.5. Proceso de Secuencia Durante el Año**

Cada intervalo quincenal es procesado usando la precipitación mensual (PM) y la evapotranspiración potencial mensual (ETP), los pasos son los siguientes:

a).- Cálculo de la precipitación ligera (PL).

$$\text{Donde: } PL = PM/2$$

b).- Cálculo de evapotranspiración neta (ETPN).

$$\text{Donde: } ETPN = (PL - ETP)/2$$

Si  $ETPN > 0$ , el incremento tiene lugar durante el periodo que se está procesando; si  $ETPN < 0$ , se reduce el perfil de humedad.

Todas las tormentas a la mitad de cada mes, son procesadas usando las siguientes entradas:

a).- Cálculo de precipitación alta (PA).

$$\text{Donde: } PA = PM/2$$

b).- Esta cantidad entra al perfil como incremento.

### **2.6.6. Cambios del Contenido de Agua durante cada Periodo**

#### **2.6.6.1. Humedecimiento ó Incremento**

Para simular las condiciones de humedad en el perfil, el agua entra en el suelo en cada ranura no saturada, siguiendo un orden específico como se presenta en el diagrama de humedad del suelo de la Figura 2.

La secuencia inicia con la ranura izquierda de la fila superior. El agua es adicionada a cada ranura sucesiva de una fila, hasta que ésta es llenada, o hasta que el agua suministrada sea agotada; cuando una capa de ranuras es llenada el programa procede con la capa inmediata subyacente, iniciando de nuevo con el lado izquierdo del diagrama de humedad.

Siguiendo el orden especificado y manteniendo el incremento de humedad dentro de una capa hasta que la capa superior está completamente llena, el modelo aritmético se asemeja a un avance descendente del frente de humedecimiento.

### 2.6.6.2. Secado ó Reducción

Simulando la extracción de agua del perfil, las ranuras son procesadas en orden diferente. La secuencia inicia con la ranura superior extrema derecha y barre las ranuras sucesivamente en diagonal derecho – descendente, hasta agotar las 64 casillas, lo que implica que la SCHS se encuentra en el punto de marchitez permanente (PMP); o bien, no hay agua disponible para las plantas, como se muestra en la Figura 3.

29	22	16	11	7	4	2	1
37	30	23	17	12	8	5	3
44	38	31	24	18	13	9	6
50	45	39	32	25	19	14	10
55	51	46	40	33	26	20	15
59	56	52	47	41	34	27	21
62	60	57	53	48	42	35	28
64	63	61	58	54	49	43	36

**Figura 3. Diagrama de humedad del suelo, secuencia de ranuras durante el secado. Modelo Newhall, 1972.**

Durante la secuencia, cada ranura es examinada y si hay presencia de agua, ésta es removida. La reducción termina cuando es agotada la ETP, o la energía que representa para el período que está siendo procesado.

La cantidad de reducción es inversamente proporcional a la tensión a la cual el agua es retenida. También varía con la profundidad de la capa.

Ambos factores son tomados en consideración en el cálculo de los promedios del diagrama de requerimientos de secado, que indica el valor por el cual una unidad de energía expresada como ETP, tiene que ser multiplicada para extraer una unidad de agua del suelo. La matriz de valores se muestra en la Figura 4:

1.65	1.40	1.23	1.13	1.05	1.00	1.00	1.00
2.07	1.69	1.43	1.26	1.15	1.07	1.02	1.00
2.68	2.14	1.74	1.46	1.28	1.17	1.09	1.00
3.58	2.80	2.22	1.78	1.49	1.31	1.19	1.11
4.98	3.80	2.93	2.30	1.84	1.53	1.34	1.21
5.00	5.00	4.03	3.07	2.38	1.89	1.57	1.37
5.00	5.00	5.00	4.31	3.22	2.47	1.95	1.61
5.00	5.00	5.00	5.00	4.62	3.39	2.57	2.01

**Figura 4. Diagrama de requerimientos de secado. Modelo Newhall, 1972.**

El proceso continúa hasta que por la evapotranspiración potencial, el agua se ha agotado, o hasta que todas las ranuras han quedado en cero. En el último caso cualquier cantidad de reducción remanente no continúa.

#### **2.6.7. Definiciones de las Condiciones de Humedad del Suelo**

La taxonomía de suelos reconoce tres condiciones de humedad en los mismos. Representan el diagnóstico para la compilación del régimen de humedad de un pedón, y son evaluadas en la sección de control de humedad. Estas se definen como:

- a) La sección de control de humedad (SCHS) está seca en todas sus partes; también denominada completamente seca. El modelo Newhall acepta esta condición cuando las ranuras de la extrema izquierda 09, 17 y 25 de la Figura 2 están totalmente vacías.
- b) La sección de control de humedad está húmeda en todas sus partes o completamente húmeda. El modelo define esta condición cuando ninguna de las ranuras de la extrema izquierda 09, 17 y 25 de la Figura 2, está vacía.
- c) La sección de control de humedad está seca en alguna de sus partes o húmeda en algunas partes. También llamada parcialmente seca o parcialmente húmeda. El modelo Newhall considera esta condición solo cuando la sección de control de humedad no cumple los requerimientos para el inciso a) ó el b).

El modelo Newhall emplea la ranura 25, localizada fuera de la sección de control de humedad para determinar la condición de humedad del suelo. En una etapa de humedecimiento esta ranura señala que la SCHS está completamente llena. En una secuencia de secado incrementa la cantidad de agua a ser extraída del suelo antes de registrar un cambio para una condición completamente seca. La inclusión de la ranura 25 y el patrón de extracción diagonal, compensan en parte el hecho de que el modelo ignora todos los movimientos superiores del agua en el suelo que realmente participa en la adición de la humedad a la SCHS.

#### **2.6.8. Numero de Días de la Condición de Humedad en Cada Periodo**

Para cada cambio en la condición de humedad, es calculada la duración relativa de cada condición de humedad, durante un periodo de lluvias ligeras. Se emplean las ecuaciones siguientes:

$$DX = 15 * ETRX / ETN$$

Donde:

DX.- Duración en días de la condición X.

ETRX.- Cantidad de ETP necesaria para cambiar esta condición a la siguiente (por ejemplo, de completamente húmedo a parcialmente húmedo).

ETN.- Es la ETP disponible durante la mitad del mes que esta siendo procesada.

La duración de la condición de humedad que termina a mediados del mes es calculada por diferencia:

$$DE = 15 - DX - DX2$$

Donde:

DE.- Es la duración de la condición de humedad que termina a la mitad del mes.

DX y DX2.-Son las duraciones de las condiciones precedentes.

Las mismas ecuaciones son usadas cuando cambian las condiciones, de condiciones secas a condiciones más húmedas. En este caso es empleada la lluvia en vez de la ETP para calcular el número de días.

### **2.6.9. Cambios en la Temperatura del Suelo**

Los datos de inicio y terminación del tiempo, cuando la temperatura del suelo es superior o inferior a un valor crítico determinado, esto es 5° u 8° C, se aproxima al de la secuencia de las temperaturas medias mensuales. El comienzo de un periodo cuando la temperatura del suelo se eleva por arriba de un nivel crítico, se obtiene por interpolación lineal entre los días 15 de cada mes; entonces se adicionan 21 días a este dato para compensar la diferencia de tiempo entre la temperatura del aire y del suelo. El dato al cual la temperatura del suelo cae por debajo de un nivel crítico es calculado siguiendo un proceso similar, excepto que son adicionados 10 días al resultado.

### **2.6.10. Determinación del Régimen de Humedad y Temperatura del Suelo**

El programa de cómputo desarrollado para este estudio, procesa para cada estación los registros climáticos de un año promedio, el cual solo proporciona datos para 12 meses. Para el cálculo de periodos de las condiciones del suelo que se extienden a través de años calendario, el programa liga un segundo año idéntico al primero.

Los dos años calendario son barridos y se calcula el número de días consecutivos o acumulativos, durante los cuales se dan las condiciones climáticas prevalecientes del suelo.

### **2.6.11. La Clasificación de Suelos**

En México se cuenta con una amplia tradición en cuanto a clasificación de suelos, considerando las culturas Maya y Azteca (Pérez y Penilla, 1988); actualmente los principales sistemas de clasificación de suelos que se conocen en México son los realizados por la FAO/UNESCO y por el Soil Survey Staff denominada Taxonomía de Suelos. La Taxonomía de Suelos utiliza información climática para definir los regímenes de humedad y de temperatura del suelo, y los emplea en las diferentes jerarquías de clasificación; en el caso de la FAO versión 1973, clasificó a los suelos con base en el clima y designó algunos grupos de suelos como los Yermosoles y Xerosoles, suelos de regiones áridas y semiáridas; no obstante en la siguiente versión se eliminaron por falta de información climática a nivel mundial. En la actualidad, el grupo FAO/UNESCO/ISRIC se unió con la SICS (Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo) y se creó la Referencia Mundial de Suelos que se conoce como la World Reference Base (ISRIC-FAO. WRB, 1998); en esta nueva referencia se toman en cuenta sólo las condiciones ambientales de congelamiento y deshielo para definir a los Cryosoles.

La taxonomía de suelos (USDA, 2006), considera los datos de humedad y temperatura para establecer el régimen hidrotérmico del suelo y definir su jerarquía taxonómica a nivel de suborden y gran grupo de suelos, por ejemplo Ustalfs, son Alfisoles con régimen climático ústico.

#### **2.6.12. La Sección de control de humedad**

##### **a) La sección de control de humedad del suelo y el perfil de mojado**

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la localización física de la sección de control de humedad del suelo se determina de la manera siguiente: "El límite superior de esta sección es la profundidad para la cual un suelo seco (tensión de más de 1500 kPa, pero no secado al aire) es humedecido por 2.5 cm de agua en un período de 24 h y el límite inferior, es la profundidad a la que un suelo seco es humedecido por 7.5 cm de agua en un tiempo de 48 h. Estas profundidades excluyen al humedecimiento a lo largo de grietas o madrigueras de animales que están abiertas hasta la superficie" (USDA, 2006); en el caso de las plantas, se limita a las profundidades radiculares de muchos cultivos. La sección control de humedad se estableció con la intención de facilitar la estimación de los regímenes de humedad a partir de datos climáticos, desde la versión de Taxonomía de Suelos de 1970.

El Soil Survey Staff (USDA, 1999) señala que los suelos con limitaciones respecto al movimiento del agua con frecuencia presentan contactos dénsicos, líticos, paralíticos o petroféricos u horizontes petrocálcicos, petrogípsicos, o un duripán, que corresponden al límite inferior de la SCHSS. Estos contactos se pueden presentar desde 10 cm a 50 cm de profundidad, donde a 10 cm es más probable que el suelo presente limitaciones al movimiento del agua, mientras que a 50 cm en condiciones áridas el límite inferior quedará más arriba, debido a la falta de agua. También enfatiza que el concepto no se aplica en suelos con arcillas expansivas, las cuales en temporada seca tienden a formar grietas y cuando se rehumedecen lo hacen a partir de la superficie y la base de las grietas, así los patrones de humedad de estos suelos sólo están definidos en términos del patrón de agrietamiento sobre el tiempo. Sin embargo, no se indica la forma de evaluar la sección de control en función del patrón de agrietamiento de manera precisa.

El Soil Survey Staff (USDA, 2006) recomienda que cuando se presenten humedecimientos irregulares, se usará el promedio ponderado de la profundidad de humedecimiento en un pedón. Esta condición es frecuente en suelos, debido a la presencia de horizontes genéticos

con espesores irregulares, donde una misma lámina de agua aplicada presentará diferentes frentes de mojado; sin embargo, esto puede hacer variar el perfil de mojado de la SCHS.

#### **b) La sección de control de humedad del suelo y la clase de tamaño de partícula**

El Soil Survey Staff propuso otra alternativa para definir en forma práctica los límites de la SCHS a partir del concepto de clase de tamaño de partículas como sigue: "la SCHS se extiende aproximadamente (1) de 10 a 30 cm debajo de la superficie del suelo si la clase de tamaño de partículas es francosa-fina, limosa-gruesa, limosa-fina, o arcillosa; (2) entre 20 a 60 cm si la clase del tamaño de partículas es francosa-gruesa; y (3) entre 30 a 90 cm, si la clase del tamaño de partículas es arenosa. Si el suelo contiene rocas y fragmentos parecidos a roca que no absorben ni ceden agua, los límites son más profundos. Los límites pueden estar afectados no solamente por la clase de tamaño de partículas, sino también por diferencias en la estructura del suelo o la distribución del tamaño de poros o por otros factores que influyen en el movimiento del agua" (USDA, 2006). La definición asume que el suelo es homogéneo en todo su espesor, con relación al tamaño de partículas; sin embargo, esta consideración no es representativa en la mayoría de los suelos.

El concepto de clase de tamaño de partículas se usa para caracterizar la composición del tamaño de granos en todo el suelo, e incluye a la fracción de tierra fina, rocas y fragmentos parecidos a rocas menores que el tamaño del pedón, pero excluye a la materia orgánica y a las sales más solubles que el yeso. Existen también sustitutos de las clases de tamaño de partículas, para lo cual se han reportado 23 clases diferentes, entre las que se encuentran pomácea, arenosa o esquelética, y de manera similar en suelos con propiedades ándicas, o con altos contenidos de vidrio volcánico, piedra pómez, o cenizas (USDA, 2006). El concepto de clase de tamaño de partículas en taxonomía representa una clasificación del tamaño de partículas intermedia entre la pedológica y la de ingeniería.

Al respecto existen diversas clasificaciones, con diferentes criterios para denominar el tamaño de partícula, por ejemplo tenemos el de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, empleada en ingeniería civil y la del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), empleada en levantamientos agrológicos.

### **2.6.13. Regímenes de Humedad y Temperatura del Suelo**

La taxonomía de suelos (USDA, 2006) considera la humedad y la temperatura del suelo como información importante para el manejo, conservación y evaluación del mismo, lo que lo hace un sistema de clasificación de múltiples usos. Estas dos variables implican la definición de dos conceptos: régimen de humedad y régimen de temperatura, que representan una condición promedio de estas variables climáticas en el suelo en un periodo de tiempo determinado.

#### a) Regímenes de Humedad del Suelo

Tomado de Claves para la Taxonomía de Suelos (2006), se definen los regímenes de humedad en términos del nivel del manto freático y en términos de la presencia o ausencia de agua retenida a una tensión  $<1500$  kPa en la sección de control de la humedad por periodos del año. Se asume en las definiciones que el suelo soporta o es capaz de soportar vegetación nativa; no se está barbechando para incrementar la cantidad de humedad almacenada, ni regada por el hombre. Estas prácticas culturales afectan las condiciones de humedad del suelo tanto como sea su duración. En el régimen de humedad del suelo se reportan cinco tipos:

Régimen de Humedad Acuico.

Regímenes de Humedad Arídico y Tórrido.

Regímenes de Humedad Udico y Perúdico.

Régimen de Humedad Ustico.

Régimen de Humedad Xérico.

Para determinar el régimen de humedad y temperatura del suelo, con frecuencia se usan modelos de simulación como una herramienta de aproximación en la clasificación de estos regímenes, con el fin de mejorar su entendimiento; entre los que existen, se mencionan algunos en el capítulo 2.5 de Modelos de simulación de balances de humedad y temperatura del suelo.

#### b) Regímenes de Temperatura del Suelo

La temperatura del suelo es determinante para el desarrollo vegetal y de la flora y fauna del suelo, además existe una relación estrecha entre la temperatura y la humedad del suelo, que contribuye al desarrollo y adaptación de las especies vegetales y animales del planeta.

Los criterios para definir las clases de regímenes de temperatura del suelo, consideran suelos minerales y orgánicos, así como temperaturas por debajo del punto de congelamiento hasta aquellas de condiciones tórridas con temperatura media anual mayor de 22 °C. Para el caso de la Taxonomía de Suelos (USDA, 1975, 2006), considera estos criterios con el fin de identificar las características de un suelo determinado y definir su clase taxonómica, dentro de las jerarquías del sistema. Como fin elemental de la clasificación es su uso práctico para fines de manejo de suelos, específicamente en lo referente a la elección de cultivos para una zona determinada, con el fin de evitar fracasos y pérdidas cuantiosas a los agricultores.

Se usan los siguientes regímenes de temperatura de los suelos para definir clases a diferentes niveles categóricos en la Taxonomía:

Pergélico; Cryico; Frígido; Mésico; Térmico; Hipertérmico.

Si el nombre de un régimen de temperatura tiene el prefijo *iso*, la media del verano y la media del invierno para junio, julio y agosto y para diciembre, enero y febrero difieren en menos de 5°C a 50 cm de profundidad o hasta un contacto lítico o paralítico, lo que sea más superficial, se tienen:

Isofrígido; Isomésico; Isotérmico; Isohipertérmico.

#### **2.6.14. Propuesta Subdivisiones Tentativas, Regímenes de Humedad (Newhall, 1972)**

Newhall (1972), propone un modelo de simulación para estimar el régimen de humedad del suelo, tomando como base los criterios señalados por la Taxonomía Americana; el método emplea un modelo matricial de 64 casillas (8 x 8), donde se simula un balance hídrico para un suelo hipotético.

##### Necesidad de las Subdivisiones

Se han hecho observaciones de que las cinco clases de regímenes de humedad reconocidas en el Soil Taxonomy (USDA, 2006), no son suficientemente uniformes para propósitos de interpretación; por lo que en 1976 se desarrolló una subdivisión tentativa de los regímenes de humedad, incorporada al programa de computación Fortran, empleada en el modelo de simulación de Newhall (Van Wambeke, 1987). Las subdivisiones no mantienen una condición oficial en la Clasificación Americana; los nombres no son empleados tal como lo designó la taxa y cada caso puede ser examinado separadamente, particularmente cuando se crean nuevos

subgrupos. La clave principal para las subdivisiones de los regímenes de humedad existentes, está dada sobre una base tentativa. El criterio empleado, supone la ocurrencia en la mayoría de los años, esto es, en seis de cada diez.

### **2.6.15. Claves para las Subdivisiones de los Regímenes de Humedad**

El uso de estas claves siempre será precedido por la identificación del régimen en términos de las cinco clases: Perúdic, Udico, Ustico, Xérico y Arídico. Cada sección en esta página es una clave individual, la cual no está inmediatamente conectada a la siguiente clave para formar una guía de fabricación de un grupo de subdivisiones a otro. En estas claves, todos los requerimientos climáticos suponen la ocurrencia en la mayoría de los años (en seis de cada diez).

#### **Clave para la subdivisión de los Arídicos**

1) Suelos con un régimen de humedad arídico en el cual la SCHS está completamente seca durante todo el año: **ARIDICOS EXTREMOS**

2) Otros suelos con régimen de humedad arídico en el cual la SCHS esta húmeda en alguna o todas sus partes por 45 días consecutivos o menos durante el periodo en que la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad es mayor que 8°C: **ARIDICOS TIPICOS**

3) Otros suelos con un régimen de humedad arídico: **ARIDICOS LIGEROS**

#### **Clave para la Subdivisión de los Xéricos**

1) Suelos con un régimen de humedad xérico en los cuales la SCHS está seca en todas sus partes por más de 90 días consecutivos durante los cuatro meses después del solsticio de verano: **XERICOS SECOS**

2) Otros suelos con un régimen de humedad xérico: **XERICOS TIPICOS**

#### **Clave para la Subdivisión de los Usticos**

1) Suelos con un régimen de humedad ústico y régimen isotermal en el cual el número de días consecutivos en el que la SCHS esta completa o parcialmente húmeda cuando la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad es mayor de 8° C, es como sigue:

a.- Menos de 180 días: **TROPUSTICO ARIDICO**

b.- Más de 180 días pero menos de 270: **TROPUSTICO TIPICO**

c.- Igual o más de 270 días:

***TROPUSTICO UDICO***

2) Otros suelos con un régimen de humedad ustico sin régimen isotermal:

a.- Suelos en los cuales la SCHS está seca en todas sus partes por más de 45 días consecutivos durante los cuatro meses siguientes al solsticio de verano y donde la SCHS está húmeda en todas sus partes por más de 45 días consecutivos durante los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno:

***TEMPUSTICO XERICO***

b.- Otros suelos donde la SCHS está húmeda en todas sus partes por más de 45 días consecutivos durante los cuatro meses siguientes al solsticio de invierno y donde la SCHS no está completamente seca por más de 45 días consecutivos durante los cuatro meses siguientes al solsticio de verano:

***TEMPUSTICO MOJADO***

c.- Otros suelos:

***TEMPUSTICO TIPICO***

### **Clave para la Subdivisión de los Udicos**

1) Suelos con un régimen de humedad udico en el cual la SCHS está seca en alguna o en todas sus partes por menos de 30 días acumulados:

***UDICO TIPICO***

2) Otros suelos con un régimen de humedad udico en el cual la SCHS está seca en alguna o todas sus partes por 30 o más días acumulados:

a.- Con un régimen isotérmico:

***TROPUDICO SECO***

b.- Sin régimen isotérmico:

***TEMPUDICO SECO***

### **2.7. Propuesta de modificación de Jarauta, al modelo de simulación de Newhall**

Jarauta (2006) explica las modificaciones en la aplicación del modelo de simulación de Newhall (1976) a series de datos climáticos, ya que el uso normal del modelo en el área meridional de Lleida, genera en forma generalizada el régimen de humedad Ustico. Tal resultado es incoherente con las características de los suelos y del clima de esta comarca española y ha motivado al autor para la elaboración de un nuevo modelo de simulación del régimen de humedad de los suelos, cuyas características principales son:

Considerar varios tipos de perfil de suelo; posibilidad de utilizar datos de precipitación diaria o mensual; tiene en cuenta la infiltración real del agua de lluvia; tiene en cuenta las características de los suelos para modelar los procesos de infiltración y evapotranspiración.

Coinciden satisfactoriamente resultados experimentales con los obtenidos mediante el modelo propuesto.

El modelo de simulación propuesto por Jarauta (2006), da como resultado que el régimen de humedad de los suelos del área meridional de Lleida es XERICO-I y ARIDICO para los de menos capacidad de retención de agua, como suelos delgados o con presencia de panes (fragipan o duripan); diferente al régimen USTICO, obtenido mediante la aplicación del modelo de Newhall.

## **2.8. Conclusión de revisión bibliográfica**

Como se puede apreciar, es apremiante el investigar y conocer a profundidad, como sucede realmente el balance de humedad en los suelos, especialmente por su importancia agronómica y en los últimos años por la necesidad de conocer el balance de humedad en los ecosistemas forestales con fines de producción de madera (Sims *et al.*, 1996).

En la agricultura de secano y con irrigación, se requiere del conocimiento de los movimientos del agua y la temperatura en el suelo, con el fin de establecer con eficiencia los periodos de crecimiento de las plantas cultivadas (especialmente en la agricultura de temporal), ya que de esto depende la obtención de cosechas redituables económicamente. Por otra parte, debido a lo generalizado del modelo de simulación, investigadores han tenido la necesidad de modificar el modelo de simulación de Newhall, para suelos arcillosos agrietados como los vertisoles, o aquellos que presentan fragipanes o duripanes en zonas aridas (Jarauta, 2006). Los métodos utilizados a la fecha, intentan demostrar el funcionamiento del sistema natural del suelo, aún cuando todos ellos están limitados a la manipulación de media docena de variables como máximo.

El fin último de las clasificaciones de suelos es el uso práctico de éstas en la producción agrícola, manejo forestal y de recursos naturales, de ahí la importancia del estudio de los balances de humedad y temperatura de los diferentes suelos del mundo; especialmente en los sistemas de producción agrícola de temporal que son predominantes a nivel mundial, particularmente en la República Mexicana, siendo Jalisco un estado con predominancia de la agricultura de temporal o secano y con una diversidad en los tipos de suelos y características particulares heredadas de los procesos de génesis de los suelos jaliscienses.

### **3. HIPÓTESIS**

El modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010), estima e identifica adecuadamente los regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco.

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 General**

Calibrar con estimaciones de niveles de humedad para tres texturas, clasificar y cartografiar los regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco.

#### **4.2. Particulares**

- a) Obtener un modelo ajustado por niveles de humedad y grupos texturales de suelos, que permita una estimación más exacta de la humedad del suelo a partir del modelo de simulación Newhall (V.1.6.2010).
- b) Estimar regímenes hidrotérmicos con el modelo de simulación Newhall (V.1.6.2010), mediante calibración de niveles de humedad en la Sección de Control de Humedad del suelo, en suelos arcillosos, francos y arenosos del estado de Jalisco, México.
- c) Clasificar los suelos de los valles en que se encuentran los tres sitios experimentales, con base en la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006) y la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos de FAO/UNESCO (1973) empleada por INEGI.
- d). Elaborar la cartografía temática de las unidades de suelos, grupos texturales de suelos en Jalisco y los regímenes de humedad y temperatura de los suelos agrícolas del Estado de Jalisco, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

## LITERATURA CONSULTADA

- Adekalu, K.O., D. A. Okunade, y J.A. Osunbitan. 2007. Estimating trafficability of three Nigerian agricultural soils from shear strength-density-moisture relations. *International Soil Sci.Soc.*
- Aidarov, I.P., Golovanov, A.I., Mamaev, M.G., González, R. A. 1985. *El Riego*. Ed. MIR. La Habana, Cuba.
- Aidarov, I.P. 2005. *Essays on the history of irrigation in the Soviet Union and Russia*. Ed MIR. Rusia.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. 1998. *Evapotranspiración de los cultivos*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Roma, Italia.
- Bonilla, M. C. y J. Cancino V. 2000. Estimación del contenido de humedad del suelo mediante el empleo de funciones de pedotransferencia. Univ. Católica de Chile.
- Buol, S.W., Hole, F. y McCracken, R. J. 1981. *Génesis y clasificación de suelos*. Ed. Trillas, S.A. 1ª ed. México.
- Castaños, C. M. y De la Mora, J. 1991. *Evaluación agroecológica en Jalisco. Caso Maíz. Sus efectos en la Planeación y Productividad Agrícola*. SEDEUR. Gobierno de Jalisco. México.
- Caviglia, O. P. y Sadras, V. O. 2006. Estimación de la evaporación y la humedad del suelo con el Método del Coeficiente de Cultivo (Kc) Dual. INTA EEA. Panamá.
- CONAGUA. 2006. *Informe sobre escenarios futuros del sector agua en México bajo cambio climático para las climatologías del 2020, 2050 y 2080*. CCA. UNAM. México.
- Conde, C. 2005. *Agricultura y cambio climático*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México.
- Chang, J. H. 1974. *Climate and agriculture. An Ecological Survey*. Third printing. C Aldine Pub. Co. USA.
- De Fina, A. L. y Ravelo, A. C. 1975. *Climatología y fenología agrícolas*. 2ª ed. EUDEBA. Argentina.
- Delmhorst. 2008. *Soil moisture tester. Operating Instructions Model KS-D1*. Delmhorst Instrument Co. USA.
- De Martonne, E. 1926. *Aréisme et l'indice d'aridité*. *Comptes rendus de l'Academie des Sciences de Paris*, 182. Francia.

- Ekanayake, I. J. 1994. El estrés por sequía y las necesidades de riego de la papa. Centro Internacional de la Papa. 38 p. Guía de Investigación CIP 30. Lima, Perú.
- Elías, F. e Ibañez, V. 1979. Comparación de los modelos matemáticos para estimar el régimen de humedad de un suelo. Anales INIA. Serie: General No 6. España.
- FAO. 1973. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Dir. Fomento Tierras y Agua. Italia.
- Fuentes, R., Umaña, L., Manquián, N. y Cristi, R. 2000. Proposición de un modelo matemático simple de persistencia de herbicidas en el suelo. Pesq. Agropec. Bras. vol. 35 No.12 Brasilia. Brasil.
- Gasco, J. M. y V. Ibañez. 1979. Criterios para la estimación del régimen de humedad de los suelos. Anales INIA. Serie: General No 6. Madrid, España.
- Geoff, G. W. y K. Klinka. 1996. Classification of moisture and aeration regimes in sub-boreal forest soils. Env. Monit. and Ass. 39:451-469 pp. Kluwer Acad. Pub. Holanda.
- Gupta, S.C. and Larson, W. E. 1979. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. Science and Education Administration, Agricultural Research, U.S. Department of Agriculture. Vol. 15, No. 6 Water Resources Research. USA.
- Hossne, G. A. , Yosmer, J. Y. N., Salazar, L. D., Bastardo, F. A., Subero, Ll. y Zarcillo, C. A. M. 2009. Humedad compactante y sus implicaciones agrícolas en dos suelos franco arenoso de sabana del estado Monagas, Venezuela. Universidad de Oriente. Monagas, Venezuela.
- Ibañez, V. y Gasco, J. M. 1983. Modificaciones al modelo matemático propuesto por Newhall, F., para la estimación del régimen de humedad del suelo. INIA. Serie: Rec. Nat. Num. 18. Madrid, España.
- INE-SEMARNAT. 2006. Tercera comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- ISRIC-FAO. 1998. WRB: Soil map of the world. Revised legend. World Soil Resources Report 60. FAO-UNESCO-ISRIC. Italia.
- Izquierdo, L. R., J. M. Galán, J. I. Santos, R. del Olmo. 2008. Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. Universidad de Burgos. EMPIRIA Rev. Cs. Sociales No 16. España.

- Jarauta, B. E. 2006. Modelos matemáticos del régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación del régimen de humedad de los suelos del área meridional de Lleida. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Joffe, J. S. 1949. Pedology. 2ª Ed. Pedology Pub. New Jersey. USA.
- Kayahara, G. J., Klinka, K., y Lavkulich, L. M. 1996. Efectos de la descomposición de madera en la eluviación, podzolización, acidificación y nutrición de los suelos con diferentes regímenes de humedad. Env. Monit. an Ass. 39:451-459. Kluwer Acad. Pub. Holanda.
- Khan, L., Gil, J. A. y Acosta, R. 1988. Diseño y funcionamiento de un lisímetro hidráulico para medición de la evapotranspiración potencial. Bioagro 10 (1) 11-17. Venezuela.
- Linacre, E.T. 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v.18, p.409-424. Holanda.
- Marbut, C. F. 1923. Soils of the Great Plains. Journal ANN ASS AMER GEOGR. Vol 13. No 2. USA.
- Marruedo, I. A. 2009. Construcción de un modelo para la simulación dinámica de sistemas con el software Vensim PLE. Ed. INVESTEA. Rev. Didáctica Ambiental. España.
- Miramontes. L. E., Ceja, R. R., Topete-Ángel, J. P. y Copado, G. F. 1987. Manual de agrología para pequeñas superficies. Inst. Geografía y Estadística. Universidad de Guadalajara. México.
- Newhall, F. 1972. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Soil Cons. Serv. USDA. Revision 4. Washington, D. C. USA.
- Newhall, F. 1976. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. USDA - Soil Conservation Service. 22 p.
- Newhall, F. 2010. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record Version1.6. Java. Soil Cons. Serv. USDA. Washington, D. C. USA.
- Noborio K. 2001. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: A review. Computers and Electronics in Agriculture 31:213-237.
- Ortiz, S. C. y Cuanalo, de la C. H. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México.

- Ortiz, S. C. 1984. Agrometeorología. Con aplicaciones en la República Mexicana. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México.
- Ortiz-Solorio, C. A. 1987. Zonas agroecológicas propuestas por la FAO, adaptado para las condiciones de la República Mexicana. Cuadernos de Edafología H8. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México.
- Péña, R. F. 1974. Notas sobre clasificación de suelos. Plan Lerma. SRH. México.
- Pérez, G. A. y Penilla, G. C. 1988. Suelos de la república Mexicana según el Soil Taxonomy USDA. Tesis. Facultad de Agricultura. Universidad de Guadalajara. México.
- Reyes, G. V. M., Grünberge, O. y Janeau, J. L. 1996. Hidrodinámica en el suelo de un pastizal en una zona árida del Norte de México. TERRA Vol. 14 No 2. México.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Agua. Montevideo. Uruguay.
- Quemada, M., Guibert, M., y López, J. J. 1999. Aplicación del modelo CERES para la simulación de los perfiles de humedad y de nitratos en el suelo bajo cultivo de trigo. Estudios de la zona no saturada del suelo. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. Tenerife, España.
- Quevedo, N. A. 2005. Evaluación del concepto sección de control de humedad, en suelos aluviales. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Quiñones, P. H., Ruelle, P. y Nemeth, L. 2002. Medición de la humedad del suelo por reflectometría en el dominio temporal (TDR). Aplicación en irrigación. Revista Ingeniería Hidráulica en México. Vol. 17. No 01. Ene-Mar. México.
- Parra, J. C., Sobrino, J. A., Acevedo, P. S. y Morales, L. J. 2006. Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de split Windows. Revista Mexicana de Física. 52 (3) 238-245. México.
- Rawls, W., D. Brakensiek, and B. Soni. 1983. Agricultural management effects on soil water processes. Part I: soil water retention and Green and Ampt infiltration parameters. Trans. of the ASAE 26: 1747-1752.
- Ríos, S. 1995. Modelización. AU 822. Alianza Ediciones. Madrid, España.
- Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a rowcrop with incomplete cover. Water Resour. Res. 8, 1204±1213.

- Ruiz-Corral, J. A., I. J. González, A., J. Anguiano, C., I. Vizcaíno, V., D. Ibarra, C., J. Alcalá, G., S. Espinoza, V. y H. E. Flores, L. 2003. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1961-2000). Libro Técnico No 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. México.
- Ruiz-Corral, J. A., I. J. González, A., J. Anguiano C. I., Vizcaíno V. J., J. Alcántar R., H. E. Flores L., J. R. Regalado R. 2004. Clasificación climática del estado de Jalisco. Libro Técnico No 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. México.
- Sánchez Meca, D. 1997. Teoría de la naturaleza. Johann Wolfgang von Goethe. Clásicos del Pensamiento. Editorial Tecnos. Madrid, España.
- Sánchez-Guzmán. P., Gutierrez-Castorena, E. V., Ortiz-Solorio, C. A. y Gutierrez-Castorena, M. C. 2009. Soil moisture regimes of Mexico using the Newhall model. Soil Dept. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Segura, C. M. A. 2003. Escalas de observación en los estudios de génesis de suelos: Caso de los suelos de humedad residual. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México.
- Sims, R. A., Baldwin, K. A., Kershaw, H. M., y Wang, Y. 1996. Tree species in relation to Soil Moisture Regime in Northwestern Ontario, Canada. *Env. Monit. And Ass.* 39:451-469. Kluwer Acad. Pub. Holanda.
- Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. SCS. USDA. Handbook No 18. USA.
- Topete-Ángel, J. P. 2005. Regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco. Tesis de Maestría. Div. Cs. Agronómicas. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climates. Trad. Pérez, E. M. *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XXI, 1967. No 3. SRH. México.
- USDA. 1975. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Soil Survey Staff. USA.
- USDA. 1993. Soil Survey Manual. Agricultural Handbook No 18. Soil Survey Staff. USDA. USA.

- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd edition. Agricultural Handbook 436, Natural Resources Conservation Service, USDA, Washington DC, USA, pp. 869
- USDA. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 10<sup>a</sup> Ed. Trad. Carlos A. Ortiz-Solorio y Ma. del Carmen Gutierrez-Castorena. México.
- Van Wambeke, A. R. 1987. Soil Moisture and temperature regimes of Central America, Caribbean, Mexico. SCS. USDA. Technical Monograph No 16. Cornell University. USA.
- Villareal, C. M. 1984. Balances hídricos del suelo para la Provincia del Chiriquí. Dir. Nal. Recursos Nat. Re. Panamá.
- Walker, A. and Barnes, A. 1981. Simulation of herbicide persistence in soil: a revised computer model. Pesticide Science, Chichester, v.12, p.123-132.
- Yaalon, D. H. and Arnold, R. W. 2000. Attitudes toward soils and their societal relevance: then and now. Soil Science 165 : 5-12.
- Zarazúa-Villaseñor, P., J. A. Ruiz-Corral, D. R. González-Eguiarte, H. E. Flores-López y J. Ron-Parra. 2011. Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas ISSN 2007-0934. Vol. Esp. No 2. 295-308 p. INIFAP. México.

**5. DESCRIPCION DE PERFILES Y AJUSTE DE LA CAPACIDAD DE  
RETENCION DE HUMEDAD EN LA SECCION DE CONTROL DE HUMEDAD  
DE SUELOS ARCILLOSOS, ARENOSOS Y FRANCO DE JALISCO, MEXICO**

(Revisado para su impresión en revista indexada)

**DESCRIPCION DE PERFILES Y AJUSTE DE LA CAPACIDAD DE RETENCION  
DE HUMEDAD EN LA SECCION DE CONTROL DE HUMEDAD DE SUELOS  
ARCILLOSOS, ARENOSOS Y FRANCO DE JALISCO, MEXICO**

**SOIL PROFILES DESCRIPTION AND ADJUSTEMENT OF THE MOISTURE  
CONTROL SECTION WATER HOLDING CAPACITY IN SANDY, CLAYEY AND  
LOAMY SOILS OF JALISCO, MEXICO**

**Jorge Pedro Topete Ángel<sup>1</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2\*</sup>,  
Diego Raymundo González Eguiarte<sup>3</sup>, José Ron Parra<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Cs. Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales; CP 45110; Tel: (0133) 3777 1150. <sup>2</sup>INIFAP Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, Km 8 Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, Tepatitlán, Jal., CP 47600, Tel: (01378) 782 0355, México. <sup>3</sup> Departamento de Desarrollo Sustentable, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales; CP 45110; Tel: (0133) 3777 1150. <sup>4</sup>Depto. Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales; CP 45110; Tel: (0133) 3777 1150.

*\*Autor de correspondencia. [ruiz.ariel@inifap.gob.mx](mailto:ruiz.ariel@inifap.gob.mx)*

## **RESUMEN**

El objetivo del presente trabajo fue describir el perfil de tres suelos tipo y ajustar el valor de capacidad de retención de humedad del suelo (CRHS), teniendo de referencia la sección de control de humedad (SCHS) para estimar el régimen hidrotérmico de suelos de manera más realista a través del Modelo de Simulación de Newhall (V.1.6.2010), utilizando como comparación, datos de humedad y temperatura de tres tipos de suelos de la región Centro del estado de Jalisco, México.

Se establecieron tres lotes experimentales, cuyos suelos presentan texturas arcillosa, franca y arenosa; y se tomaron datos semanales de la humedad y temperatura de la Sección de Control de Humedad (SCHS), cuya profundidad es diferente para cada tipo textural. La serie de datos abarca de Marzo del 2009 hasta Marzo del 2011, que comprende dos periodos completos del ciclo de lluvias en la región citada. Se elaboraron cuadros y gráficas de resultados obtenidos de los muestreos semanales de suelos en los lotes experimentales de Rancho Cofradía (textura arcillosa); Campo Experimental del CUCBA (textura franca) y Rancho Los Agaves (textura arenosa). Conforme a las series de datos obtenidos, se realizaron los balances de humedad de

los suelos de cada lote experimental, de acuerdo a las profundidades establecidas para la Sección de Control de la Humedad del Suelo (SCHS), definidas en la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006), conforme a las texturas de éstos. Como parte fundamental del trabajo es la clasificación de los suelos presentes en los tres lotes experimentales, con base en la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006), en resultados de análisis de laboratorio de suelos y en la descripción morfológica de los perfiles, que son el fundamento del trabajo de investigación. Se logró el ajuste del modelo por niveles de humedad, disminuyendo una subdivisión de Tropustico údico a Tropustico típico y se generó cartografía temática del estado de Jalisco.

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to describe the three soils profile type and adjust the value of retention capacity soil moisture (CRHS), having reference section humidity control (SCHS) to estimate soil hydrothermal regime so more realistic through the Newhall Simulation Model (V.1.6.2010), using as comparison, humidity and temperature data from three types of soils in the central region of Jalisco, Mexico.

Three experimental plots were established, whose soils are clayey, loamy and sandy textures; and weekly data from the humidity and temperature of the Moisture Control Section (SCHS) were taken, the depth is different for each textural type. The data set covers March 2009 to March 2011, comprising two full periods of the rainfall in that region. Charts and graphs of results obtained from the weekly sampling were developed, of soils in the experimental plots of Rancho Cofradía (clayey); Experimental Field of CUCBA (loamy) and Rancho Los Agaves (sandy). According to the data sets obtained, balances soil moisture of each test group, according to the depth established for Section Control Soil Moisture (SCHS) as defined in Soil Taxonomy (USDA, 2006) were performed, as these textures. As a fundamental part of the work is the classification of soils present in the three experimental plots, based on Soil Taxonomy (USDA, 2006), results of laboratory analysis of soil and morphological description of each profile, which they are the foundation of the research. Model fit for moisture levels are achieved by reducing a subdivision of a Udic Tropustic to Typical Tropustic and thematic mapping the state of Jalisco was generated.

## INTRODUCCION

La estimación del régimen de temperatura y humedad del suelo es un aspecto fundamental en la descripción de las características ambientales del ambiente edáfico disponible para la práctica de agricultura en una región determinada. Los procedimientos de medición directa de estas variables son por lo general costosos e imprácticos cuando el área de estudio la constituye un área geográfica territorialmente extensa. Por ello existen métodos inferenciales que permiten tener una idea aproximada y útil de las condiciones reales de temperatura y humedad del suelo. Uno de estos métodos es el modelo de simulación de Newhall, el cual está enfocado a determinar los regímenes hídrico y térmico en suelos, y fue adoptado por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos para describir los regímenes de humedad utilizados en el Sistema de Taxonomía de Suelos de EUA (Soil Survey Staff, 1975). De acuerdo con Van Wambeke (2000), en el Modelo Newhall el suelo es referido como una reserva de agua con capacidad fija, el agua se añade por precipitación, la cantidad excedente de la capacidad de retención de humedad del suelo se pierde por lixiviación profunda o escurrimiento y el agua retenida en el suelo se pierde por evapotranspiración. Este modelo utiliza el método de Thornthwaite (1948) para estimar la evapotranspiración (ETP) a partir de datos de temperatura y duración del día. El perfil de humedad del suelo que originalmente se considera se extiende desde la superficie del suelo hasta una profundidad tal de una capacidad de retención de humedad (CRH) de 200 mm. La profundidad de suelo requerida para alcanzar esta CRH depende de la geometría de poros del suelo y puede ir desde 80 cm en suelos arcillosos bien estructurados hasta 200 cm en suelos migajones arenosos; en suelos de textura media, la profundidad requerida es de 100 a 135 cm. El perfil del suelo es dividido en ocho capas, cada una de las cuales retiene 25 mm de agua disponible, la segunda y la tercera capa forman la sección de control de humedad. Esta es definida por la Taxonomía de Suelos como la capa que tiene un límite superior y un límite inferior equivalentes a la profundidad de humedecimiento de un suelo seco (1500 kpa) con 25 mm de agua moviéndose hacia abajo en un periodo de 24 horas, y, 75 mm de agua moviéndose hacia abajo en un periodo de 48 horas, respectivamente. Con relación a la precipitación mensual, el modelo asume que la mitad cae durante una tormenta (precipitación intensa) a mediados del mes; esta humedad entra en el suelo inmediatamente sin pérdidas, salvo que la capacidad de retención de humedad del suelo sea excedida. La otra mitad de la precipitación mensual ocurre en varios eventos pequeños

(precipitación ligera), y es parcialmente perdida por evapotranspiración antes de entrar al suelo; sólo puede infiltrarse en el suelo cuando la precipitación ligera excede la evapotranspiración potencial (Newhall y Berdanier, 1996).

No obstante, el modelo de Newhall presenta limitaciones, las cuales se pueden agrupar en los siguientes aspectos (Bonfante et al., 2011): a) Muchos retos agroambientales relacionados con el suelo requieren del comportamiento dinámico del sistema suelo-clima (ejemplo, riesgo de lavado de nitrógeno), el cual no es bien descrito por las herramientas estándar disponibles en el sistema de Taxonomía de Suelos, la cual se basa en una descripción estática del suelo; b) Para clasificar el régimen de humedad del suelo, el modelo Newhall, al igual que los modelos Billaux y EPIC, aplican un simple esquema de cubeta que no está basado en leyes físicas y frecuentemente produce predicciones incorrectas del flujo de agua, especialmente cuando se aplica sin una calibración adecuada (Guswa et al., 2002). Ello hace cuestionar que tan propiamente los modelos definen la sección de control de humedad y el régimen de humedad del suelo.

Debido a las diversas limitaciones del modelo Newhall, se han realizado trabajos donde se han propuesto ajustes al modelo. Tal es el caso del estudio Ibañez y Gasco (1983) quienes proponen modificaciones para simular el efecto del agrietamiento en suelos arcillosos, o el trabajo de Jarauta (2006) quien propone adecuaciones al modelo para adaptarlo a suelos con poca profundidad o con presencia de duripanes en regiones áridas de España. En México, Topete (2005) aplicó el modelo original de Newhall para la determinación de regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco, resultando nueve regímenes hidrotérmicos en todo el Estado. Sin embargo, un denominador común de los resultados fue la sobreestimación de las condiciones de humedad en el suelo, debido a que se consideró el modelo Newhall original sin adecuación alguna a las condiciones edáficas del estado de Jalisco.

Aún con las limitaciones expuestas del modelo Newhall, éste es considerado como una herramienta muy útil en la descripción de los regímenes hídrico y térmico del suelo, cuando se cuenta con poca información de características del suelo. Sin embargo, como se ha señalado anteriormente, debe procurarse hacer los ajustes necesarios al método con la finalidad de lograr resultados ajustados en aplicaciones regionales. Por ello, el objetivo de la presente

investigación fue describir el perfil de un suelo arcilloso, un suelo arenoso y un suelo franco típicos de los Valles de Zapopan y San Isidro Mazatepec y evaluar y/o ajustar el valor de su capacidad de retención de humedad en la sección de control de humedad del suelo. Al respecto USDA (2006) propone utilizar como límites de la sección de control de humedad del suelo, los siguientes valores: 10-30 cm para suelos arcillosos, 20-60 cm para suelos de textura media y 30-90 cm para suelos arenosos. No obstante estos valores pueden variar regionalmente.

## MATERIALES Y METODOS

### Área de estudio

El área de estudio corresponde a tres sitios representativos de textura arenosa, franca y arcillosa, distribuidos en los valles de Zapopan y San Isidro Mazatepec, en la región centro del estado de Jalisco. La localización geográfica de estos sitios de observación se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Localización geográfica, altitudinal y características de textura de suelo de tres sitios de observación en la región Centro del estado de Jalisco.**

Sitio	Longitud (W)	Latitud (N)	Altitud (m)	Textura suelo
Campo CUCBA	655,160.01	2°294,508.15	1,659	Franca
Rancho Los Agaves	648,885.00	2°271,404.00	1,540	Arenosa
Rancho Cofradía	651,318.83	2°264,303.98	1,501	Arcillosa

Siendo los sitios de observación valles predominantemente agrícolas, la vegetación nativa corresponde a selva baja caducifolia y pastizales; presentan un clima semicálido-subhúmedo, con clave climática (A)C(w<sub>1</sub>)w según Köppen y García (1973); con lluvias de verano, en el Valle de Zapopan la precipitación media anual es de 979.6 mm y la temperatura media anual es de 19.6 °C; en el valle de San Isidro Mazatepec la precipitación media anual es de 845.4 mm y la temperatura media anual es de 20.4 °C (Ruiz et al., 2003).

### Caracterización de perfiles de suelo

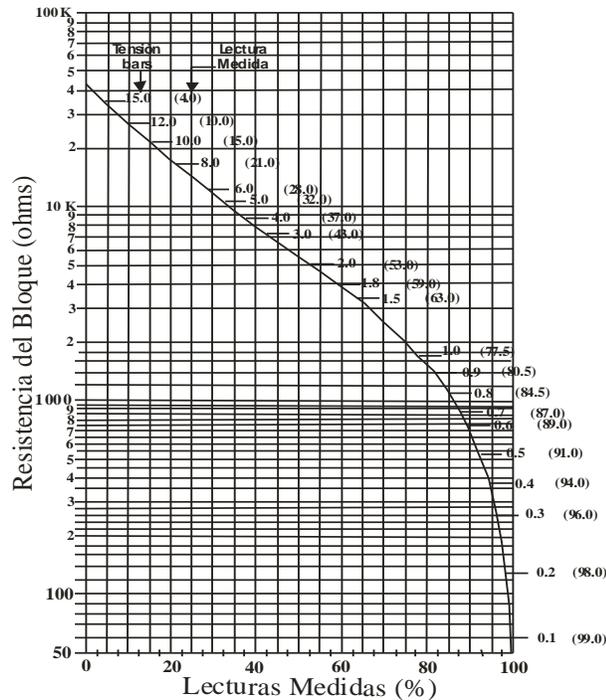
La descripción de perfiles del suelo se realizó de marzo a abril de 2009 tomando como base el Manual Núm. 18 para la Descripción de Perfiles de Suelo editado por el Soil Conservation Service del USDA (1993) y para su clasificación se tomó de base la Taxonomía de Suelos (SCS, 2006) y la versión editada por la FAO/UNESCO de 1973 aún vigente en México.

En el proceso descriptivo, se empleó la metodología para describir la morfología de los suelos (Joffe, 1949; Sánchez, 1997) de sitios experimentales.

Para complementar la descripción morfológica de los suelos de sitios experimentales, se realizaron análisis de laboratorio de suelos, en los que se determinaron contenidos de humedad, características físicas como color, textura, estructura, porosidad, contenido de raíces, consistencia en seco, en húmedo y en saturado, entre otros; características químicas como capacidad de intercambio catiónico, pH, bases intercambiables, datos sobre fertilidad de suelos como nitrógeno nítrico y amoniacal, fósforo, potasio y calcio, entre otros; y características biológicas como contenido de materia orgánica.

### **Monitoreo de humedad y temperatura del suelo**

De acuerdo con el sistema de Taxonomía de Suelos (2006) de los Estados Unidos, para el sitio con suelo arenoso (Rancho Los Agaves) se consideraron como límites superior e inferior de la sección de control de humedad del suelo (SCHS) 30 y 90 cm de profundidad de suelo, respectivamente; mientras que para un suelo franco (CUCBA) los límites considerados fueron 20 y 60 cm, y para un suelo arcilloso (Rancho Cofradía) fueron 10 y 30 cm, respectivamente. A estas profundidades se colocaron sensores de humedad a base de bloques de yeso que miden la conductividad eléctrica (dos sensores por sitio), empleando un medidor de humedad de suelo marca DELMHORST modelo KS-D1, que mide la resistencia eléctrica de los bloques de yeso, en ohm y que correlaciona con la tensión de humedad del suelo (bar) y el contenido de humedad del suelo, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Diagrama de relación entre lecturas medidas y tensión de humedad del suelo y resistencia eléctrica en un medidor DELMHORST modelo KS-D1.**

Se tomaron lecturas de humedad y temperatura de la SCHS semanalmente, iniciando el ciclo de toma de datos en el mes de Mayo del 2009, cerrando el ciclo en el mes de Abril del 2010 e iniciando un segundo ciclo en Mayo del 2010 hasta Junio del 2011; aun cuando dos ciclos pudiesen considerarse como escasos, son típicos para la región centro del estado de Jalisco. Dado que la toma de datos fue semanal, los resultados del muestreo se interpolaron para lograr datos diarios de condición “húmedo”, “medio seco” y “seco” para cada uno de los días del ciclo de observación. A partir de la lectura de las gráficas de monitoreo de humedad, fueron considerados como húmedos los días en que el porcentaje de humedad es mayor o igual al 42%, como medio secos los días en que el porcentaje de humedad es menor al 41% y mayor al 5.0% (Punto de marchitez permanente) y secos los días en que el porcentaje de humedad es menor al 5.0%

### **Simulación del contenido de humedad del suelo con el Modelo Newhall**

Se llevó a cabo una simulación del régimen hidrotérmico de los sitios de observación mediante el Modelo Newhall V.1.6.2010 (1972), para lo cual se emplearon datos de precipitación y temperatura normales mensuales y anuales, correspondientes a los años 2009 y 2010 de tres

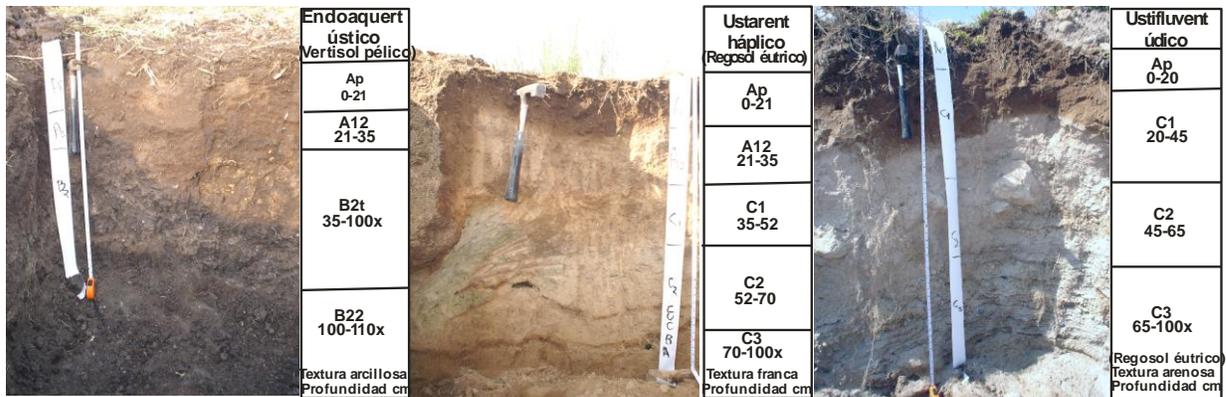
estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional cercanas a los sitios de observación. Para el sitio de observación CUCBA se empleó la estación 14-169 Zapopan que se ubica a 7 km; para el sitio Rancho Los Agaves se utilizó la estación 14-351 Tala que se ubica a 10 km, y para el sitio Rancho Cofradía se consideró la estación 14-113 Presa Hurtado que se localiza a 12 km del sitio. El modelo de simulación de Newhall versión 1.6 se basa en los criterios para la definición de regímenes hidrotérmicos especificados por la Taxonomía de Suelos (2006), incluyendo las subdivisiones tentativas propuestas por F. Newhall (1972). Esta versión del modelo permite manipular la capacidad de retención de humedad de la sección de control de humedad del suelo, por lo que se simuló la duración de días húmedos, días parcialmente húmedos y días secos para los años 2009 y 2010, variando el valor de CRHS en la SCHS en los tres sitios. Las simulaciones comenzaron con un valor inicial de CRHS correspondiente a los límites inferior y superior de la SCHS sugeridos por el sistema de Taxonomía de Suelos, descrito con anterioridad. A partir de estos valores, la CRHS se varió hacia la alza y hacia la baja hasta lograr un valor de CRHS que lograra simular la duración de la humedad del suelo con la mayor concordancia posible a la curva de humedad del suelo descrita por el monitoreo en campo en los tres sitios.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Descripción de perfiles**

En la Figura 2 se ilustra el aspecto visual del perfil del suelo en cada uno de los sitios de observación. Como puede notarse, existen diferencias en composición de horizontes entre los suelos tipo de los tres sitios, lo cual seguramente está relacionado con las propiedades de retención de humedad del suelo y por ende con los límites y espesores de la SCHS para cada perfil como lo especifica la Taxonomía de Suelos (2006).

El perfil del sitio Rancho Cofradía presenta una morfología simple para un suelo semi-maduro, con secuencia genética de horizontes, los que se describen en el Cuadro 2. Se observó que se trata de un suelo café grisáceo oscuro, desarrollado en ambiente de piso de valle, con abundancia de vegetación de selva baja caducifolia, con cierta frecuencia de sauce (*Salix* sp.); topografía de relieve plano y pendiente en promedio menor del 2%. El uso del suelo predominante es maíz de temporal.



**Figura 2. Aspecto del perfil de suelo en Rancho Cofradía (izquierda), CUCBA (centro) y Racho Los Agaves (derecha).**

**Cuadro 2. Descripción del perfil de suelos del sitio Rancho Cofradía, Tlajomulco, Jalisco.**

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-21	Límite difuso e irregular. Textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, moderadamente desarrollada; compacto; consistencia en seco “muy duro”, en húmedo “friable”, en saturado “plástico y adhesivo”. Contenido de raíces muy abundantes, gruesas, medianas y finas, verticales. Porosidad abundante, poros medios y finos, caóticos y continuos, dentro de los agregados intersticiales. pH = 6.0, reacción nula al HCl, reacción nula a fenolftaleína, reacción muy fuerte a peróxido de hidrógeno.
A2	21-35	Límite difuso e irregular. Textura arcillosa, estructura en bloques subangulares, fuertemente desarrollada; muy compacto; consistencia “muy dura” en seco, en húmedo “friable”, en suelo saturado “plástico y adhesivo”. Raíces medias y finas abundantes y verticales. Poros medios y finos abundantes, caóticos y continuos, dentro de los agregados intersticiales. pH = 6.5; reacción nula al HCl; reacción nula a fenolftaleína; reacción fuerte a peróxido de H.

B2t	35- 100x	Límite abrupto y casi plano. Textura arenosa, estructura granular, débilmente desarrollada; muy compacto; consistencia en seco “suelta”, en húmedo “deleznable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Raíces medias y finas moderadamente abundantes, verticales. Poros muy abundantes, macroporos caóticos, intersticiales y continuos. pH = 6.5; reacción nula a fenolftaleína y peróxido de H.
Clasificación de suelo	Endoaquert ustico (Taxonomía de suelos, USDA, 2006). Vertisol pélico (FAO/UNESCO, 1973).	

El perfil representativo de los suelos del sitio CUCBA, presenta una morfología simple para un suelo joven, con secuencia genética de horizontes y discontinuidad litológica. La descripción de horizontes se presenta en el Cuadro 3. Suelo de color café claro, con vegetación de pastos y herbáceas, con especies arbóreas de selva baja caducifolia y de los géneros *Quercus* y *Pinus*. Topografía plana, con pendiente media menor del 2.0%; agricultura anual predominantemente de maíz de temporal (*Zea mays*). En la Figura 2 se ilustra el aspecto visual del perfil de suelo.

**Cuadro 3. Descripción del perfil de suelos del sitio CUCBA, Zapopan, Jalisco.**

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-21	Límite claro e irregular. Textura franco arenosa, estructura de bloques subangulares medios, débilmente desarrollada; consistencia “dura” en seco, “friable” en húmedo y “no plástico no adhesivo” cuando saturado. Raíces medias y finas abundantes, verticales. Poros medios y finos abundantes, intersticiales, caóticos, continuos y vesiculares. pH 4.5; reacción al HCl y fenolftaleína nula, a peróxido de Hidrógeno es ligera.
A12	21-33	Límite claro e irregular. Textura franco arenosa, estructura en bloques subangulares medios, débilmente desarrollada; consistencia en seco “duro”, en húmedo “friable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Raíces frecuentes, finas y verticales.

		Poros medios y finos abundantes, intersticiales, caóticos, continuos y vesiculares. pH 4.5; reacción al HCl y fenolftaleína es nula; a Peróxido de H es ligera.
C1	33-52	Límite claro e irregular. Textura arena francosa, de estructura granular gruesa, débilmente desarrollada; consistencia en seco “ligeramente duro”, en húmedo “muy Friable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Contenido de raíces escaso, raíces finas y verticales. Porosidad abundante, poros gruesos, medios y finos, intersticiales, caóticos, continuos y vesiculares. pH 4.0; reacción al HCl y fenolftaleína nula; a peróxido de H es nula.
C2	52-70	Límite claro e irregular. Textura arena francosa, de estructura granular, granos sueltos; consistencia en seco “suelto”, en húmedo “deleznable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Contenido de raíces nulo. Porosidad abundante, con poros gruesos, medios y finos, intersticiales, caóticos, continuos y vesiculares. Reacción del suelo = pH = 4.0; reacción al HCl, fenolftaleína y Peróxido de H es nula.
II C3	70-100x	Límite claro e irregular. Discontinuidad litológica (pómez). Textura arena gruesa, de estructura granular, granos sueltos; consistencia en seco “suelto”, en húmedo “deleznable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Contenido de raíces nulo. Porosidad abundante, poros gruesos, medios y finos, intersticiales, caóticos, continuos y vesiculares. pH 4.0; reacción al HCl, fenolftaleína y Peróxido de H es nula.
Clasificación de suelo		Ustarent haplico (Taxonomía de Suelos, USDA, 2006) Regosol eutrico (FAO/UNESCO, 1973)

El perfil representativo de suelos arenosos, esto es del sitio “Rancho Los Agaves”, presenta una morfología simple para un suelo reciente a joven, con secuencia genética de horizontes, los que se describen en el Cuadro 4. Suelo café grisáceo, desarrollado en piso de valle ondulado; con abundancia de vegetación de selva baja caducifolia, dominada por leguminosas

y frecuencia de nopalera (*Opuntia sp.*). Topografía de relieve ligeramente ondulado con pendientes media menor del 6.0%. Predomina agricultura de temporal anual con dominancia de maíz (*Zea maíz*), seguida por caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*), agave tequilero (*Agave tequilana* Weber Var. Azul) y agricultura intensiva de invernadero.

**Cuadro 4. Descripción del perfil de suelos del sitio Rancho Los Agaves, Tala, Jalisco.**

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
Ap	0-20	Límite abrupto e irregular. Poco compacto. Textura franco arenosa (Fa), de estructura granular media, débilmente desarrollada; consistencia en seco “Suave”, en húmedo “Muy Friable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Contenido de raíces abundantes, medias y finas, verticales. Porosidad abundante, poros gruesos y medios, caóticos, dentro de los agregados, intersticiales y continuos. Reacción del suelo, pH = 5.0; reacción nula al HCl y fenolftaleína, reacción a peróxido de hidrógeno es ligera.
C1	20-45	Límite abrupto e irregular. Poco compacto. Textura arena francosa, de estructura granular media, débilmente desarrollada; consistencia en seco “suave”, en húmedo “deleznable”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Contenido de raíces frecuentes, medias y finas, verticales. Porosidad muy abundante, poros gruesos y medios, caóticos, dentro de los agregados, intersticiales y continuos. Reacción del suelo pH = 5.0; reacción al HCl y fenolftaleína es nula, a Peróxido de H es ligera.
C2	45-65	Límite claro e irregular. Suelto. Textura arena muy gruesa (A), de estructura granular, suelta; consistencia en seco “Suelto”, en húmedo “Suelto”, en saturado “no plástico y no adhesivo”. Contenido de raíces escasas, finas, verticales. Porosidad muy abundante, gruesa, caótica, intersticial y continua. pH 5.0; reacción nula al HCl, fenolftaleína y Peróxido de H.
C3	65-100x	Límite difuso e irregular. Suelto. Textura arena gruesa (A), de

		estructura granular, suelta; consistencia en seco “Suelto”, en húmedo “Suelto”, en saturado “No plástico y no adhesivo”. Contenido nulo de raíces. Porosidad muy abundante, gruesa, caótica, intersticial y continua. Reacción del suelo pH 4.5; reacción nula al HCl, fenolftaleína y Peróxido de H.
Clasificación de suelo		Ustifluent udico (Taxonomía de Suelos, 2006) Regosol eutrico (FAO/UNESCO, 1973).

### **Características físicas del suelo**

Como parte del proceso de análisis, se realizaron análisis de laboratorio de suelos, en muestras de los horizontes de suelos que comprenden la sección de control de humedad del suelo (SCHS) conforme a lo dispuesto por la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006); los resultados se muestran en el cuadro 5. Como se aprecia, los análisis de laboratorio reportan las características físicas de textura, densidad aparente, capacidad de campo y punto de marchitez permanente, para tres localidades con textura de suelos diferente; con el fin de demostrar que además de variar la profundidad y espesor de la sección de control de humedad del suelo, también varían fuertemente las características texturales de los suelos de los lotes experimentales y la disposición de la SCHS, respecto de los horizontes de los perfiles de suelos estudiados. Las características señaladas, afectan diferencialmente los contenidos de humedad de los suelos, por lo que obligadamente variarán las cantidades de humedad almacenada en la SCH de los suelos tipo (arcillosos, francos y arenosos) y no como resulta el cálculo del modelo de simulación Newhall, que muestra el mismo régimen hidrotérmico para los tres suelos con textura diferente; sobreestimando las reservas de humedad de los suelos, más allá de su condición natural de respuesta.

**Cuadro 5. Propiedades físicas de suelos con textura diferente, de tres localidades en el Centro del estado de Jalisco.**

Localidad	Textura Suelos	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	DA (%)	CC (%)	PMP	Profundidad (SCHS)(cm)	Horizontes (cm)	Lluvia Anual (mm)	Temperatura Media Anual (°C)
Cofradía	Arcillosa	26.58	32.91	40.51	1.00	91	15 Atm	10-30	Ap (0-21)	845.4	18.6
		36.58	28.92	34.51	1.00	41	4.0%		A2 (21-35)		
CUCBA	Franca	13.02	62.71	24.27	1.28	94	15 Atm	20-60	Ap (0-33)	989.1	15.05
		20.02	51.71	28.27	1.31	42	4.0%		C1 (33-50)		
Los Agaves	Arenosa	3.83	90.35	5.82		96	15 Atm	30-90	C1 (35-65)	776.4	13.4
					1.65				C2 (65-90)		
		2.38	93.35	4.27		43	4.0%		C3(90-110)		

Nota: DA.- Densidad Aparente; CC.- Capacidad de Campo, Máxima y Media; PMP.- Punto de Marchitez Permanente. SCHS.- Sección de Control de Humedad del Suelo (cm). Sin limitante en profundidad del suelo de los tres sitios.

### Monitoreo de humedad en el suelo

En las Figuras 3, 4 y 5 se puede apreciar la distribución temporal del contenido de humedad (%) del suelo en los tres sitios de observación. Como puede observarse, en los tres lotes experimentales inician las lluvias en los primeros 10 días de junio, para el día 20 la SCHS casi alcanza la saturación; esta condición permanece hasta la primera quincena de noviembre, donde inicia la disminución en el contenido de humedad de la SCHS. En la gráfica de los suelos arcillosos del Rancho Cofradía, se aprecian cambios abruptos durante el proceso de llenado y drenado de la SCHS, por efecto de las lluvias de verano y debido a que la profundidad de ésta se encuentra entre los 10 y 30 centímetros, ocurriendo un efecto marcado de la evapotranspiración del suelo, por lo que tanto el límite superior como inferior de la SCHS prácticamente se secan después del 15 de noviembre. Aproximadamente a mediados de agosto se observa un marcado descenso de la humedad por efecto de la canícula, al igual que en julio debido a la presencias errática de lluvias; durante febrero y marzo del 2010 ocurrieron precipitaciones conocidas como “cabañuelas”, saturando temporalmente la SCHS. En las gráficas de los suelos arenosos del Rancho Los Agaves y en los suelos francos del CUCBA, la tendencia del llenado y drenado de la SCHS es más homogénea y regular a partir de la primera quincena de junio, permaneciendo saturada hasta principios de noviembre, cuando ocurre el drenado de ésta por efectos de la evapotranspiración del suelo, de tal manera que para el 25 de noviembre en el CUCBA y 10 de diciembre en el rancho Los Agaves, ya se encuentra seco el



límite superior de la SCHS; mientras que el límite inferior permanece húmedo hasta el mes de enero, volviendo a saturarse en febrero y marzo por efecto de las “cabañuelas”. Finalmente empieza a secarse el límite inferior en la primera decena de abril, secándose por completo en los suelos del Rancho Los Agaves y manteniéndose medio seco en los campos del CUCBA, hasta iniciar de nuevo el ciclo de lluvias en el mes de junio.

El resultado de los datos obtenidos en la medición de la humedad y la temperatura de los suelos en los tres sitios experimentales, manifiesta la cantidad de días en los que la humedad del suelo se encuentra o no presente, de tal forma que se establece durante el periodo de lluvias, la condición del número de días con agua disponible para los cultivos de la región. A partir del muestreo de humedad en campo se derivó el porcentaje de días húmedos, días medio secos y días secos presentes durante los dos ciclos de observación. Los resultados se muestran en el Cuadro 6. Como puede observarse, el ciclo 2009-2010 presentó un mayor porcentaje de días húmedos que el ciclo 2010-2011, en los tres sitios estudiados; en contraparte el ciclo 2010-2011 presentó un mayor porcentaje de días secos que el ciclo 2009-2010. En el Cuadro 7, se muestra a manera de ejemplo el desglose de días húmedos, secos y medio secos derivado a partir de la interpolación de datos semanales de monitoreo de la humedad del suelo en el sitio CUCBA. Ahí se puede apreciar que la condición de medio seco comenzó el 31 de mayo y la condición de suelo húmedo el 21 de junio, señalando que el inicio de la estación de crecimiento para cultivos tuvo lugar durante este intervalo.

**Cuadro 6. Porcentaje de estados de humedad de la sección de control de humedad en tres sitios de observación.**

Lote Experimental	Año	Estados de la sección de control de humedad		
		H	M/S	S
Lote 1 CUCBA	2009-10	52.05	43.29	4.66
	2010-11	30.14	58.90	10.96
Lote 2 Cofradía	2009-10	48.49	27.94	23.56
	2010-11	40.00	9.31	50.68
Lote 3 Los Agaves	2009-10	36.99	59.18	3.83
	2010-11	34.52	41.64	23.80

H.- Sección de control, húmeda en todas partes  
 MS.- Sección de control, húmeda en alguna parte  
 S.- Sección de control, seca en todas partes

**Cuadro 7. Estado diario de la sección de control de humedad en el Lote 1: CUCBA.**

**Año 2009, obtenido por interpolación de las gráficas de campo.**

DÍAS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	MS	MS	MS	MS	S	MS	H	MS	H	H	H	MS
2	MS	MS	MS	MS	S	MS	H	MS	H	H	H	MS
3	MS	MS	MS	MS	S	MS	H	MS	H	H	H	MS
4	MS	MS	MS	MS	S	MS	H	MS	H	H	H	MS
5	MS	MS	MS	S	S	MS	H	MS	H	H	H	MS
6	MS	MS	MS	S	S	MS	H	MS	H	H	H	MS
7	MS	MS	MS	S	S	MS	H	H	H	H	MS	MS
8	MS	MS	MS	S	S	MS	H	H	H	H	MS	MS
9	MS	MS	MS	S	S	MS	H	H	H	H	MS	MS
10	MS	MS	MS	S	S	H	H	H	H	H	MS	MS
11	MS	MS	MS	S	S	H	H	H	H	H	MS	MS
12	MS	MS	MS	S	S	H	H	H	H	H	MS	MS
13	MS	MS	MS	S	S	H	H	H	H	H	MS	MS
14	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
15	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
16	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
17	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
18	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
19	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
20	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
21	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
22	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
23	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
24	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
25	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
26	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
27	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
28	MS	MS	MS	S	MS	H	H	H	H	H	MS	MS
29	MS	*	MS	S	MS	H	MS	H	H	H	MS	MS
30	MS	*	MS	S	MS	H	MS	H	H	H	MS	MS
31	MS	*	MS	*	MS	*	MS	H	*	H	*	MS

H.- Sección de control de humedad, húmeda en todas partes.

MS.- Sección de control de humedad, húmeda en alguna parte.

S.- Sección control de humedad, seca en todas partes.

\* Número de días del mes que se trate.

### **Balance de humedad**

En el Cuadro 8 se aprecia el resultado de la simulación de días húmedos, días medio secos y días secos durante el ciclo 2009-2010 al aplicar datos de monitoreo en campo y aplicando el Modelo Newhall 1.6 bajo dos condiciones: Con supuestos originales del modelo y con capacidad de retención de humedad ajustada para los tres suelos tipo estudiados. De acuerdo con estos resultados, al utilizar los supuestos originales del modelo, se cuenta con más de 300 días acumulados (días húmedos + días medio secos) con humedad disponible para las plantas cultivadas; esto supone una cartera de cultivos muy variada, lo que no necesariamente ocurre en estas áreas agrícolas. Por otro lado, los resultados de la simulación del número de días con algún grado o húmedos reportados con el uso de mediciones en campo, reportan más de 300 días solamente en el sitio CUCBA (325 días) pero no así en Rancho Cofradía y Rancho Los Agaves, donde esta condición totaliza 180 y 265 días, respectivamente. Al aplicar los supuestos originales del modelo se sobreestima 43.6 % la humedad en la SCHS en los suelos arcillosos del Rancho Cofradía y 14.4% en los suelos arenosos del Rancho Los Agaves, mientras que subestima la humedad en las condiciones del sitio CUCBA en un 4.6%, debido a que los suelos francos del valle de Tesistán-Atemajac, están constituidos por cenizas volcánicas de arenas y pómez, por lo que se almacena mayor humedad en estos suelos, de la estimada por el modelo de simulación. Esta condición textural de los suelos del CUCBA, no se presenta en los suelos de textura media o franca del interior del estado de Jalisco y por experiencia de campo y criterio agronómico, se sabe que mantienen una humedad intermedia entre los suelos arcillosos y los arenosos.

Bajo el tercer criterio, esto es con capacidad de retención de humedad ajustada en la sección de control, se tienen resultados intermedios entre los resultados de los dos criterios anteriores. Para el caso de Rancho Cofradía y Rancho Los Agaves el resultado del total de días húmedos + días medio secos es similar al del ejercicio con datos de campo, señalando que en caso de no contar con mediciones directas de campo, este podría ser un procedimiento alternativo de ajuste aceptable. Para el caso del sitio CUCBA, este tercer procedimiento subestimó visiblemente el número total de días húmedos + medio secos. Esto muy probablemente se debe a la naturaleza de los suelos pumíticos del sitio, característica que le permite almacenar humedad extra en el suelo, y que no existe (mediante las metodologías trabajadas) manera de representar a través del modelo Newhall V.1.6.2010.

**Cuadro 8. Número de días con disponibilidad de humedad en la SCHS, bajo tres procedimientos: Monitoreo en campo (arriba) y simulaciones con el Modelo Newhall 1.6.: considerando supuestos originales del modelo (en medio) y con capacidad de retención de humedad ajustada (abajo).**

<b>Datos de campo</b>								
1. CUCBA SCHS 20-60 cm Textura Franca			2. RANCHO COFRADIA SCHS 10-30 cm Textura Arcillosa			3. RANCHO LOS AGAVES SCHS 30-90 cm Textura Arenosa		
Seco	M/S	Húmedo	Seco	M/S	Húmedo	Seco	M/S	Húmedo
40	200	125	185	34	146	99	121	140
Días Acumulados <b>325</b>			Días Acumulados <b>180</b>			Días Acumulados <b>261</b>		
<b>Supuestos originales del modelo</b>								
Zapopan, Est. Zapopan			Cofradía, Est. P. Hurtado			Los Agaves, Est. Tala		
50	46	264	41	53	266	55	46	259
Días Acumulados <b>310</b>			Días Acumulados <b>319</b>			Días Acumulados <b>305</b>		
<b>Capacidad de retención de humedad ajustada</b>								
80 mm, suelo franco, Tonalá			70 mm, suelo arcilloso,			90 mm, suelo arenoso, Tala		
165	34	161	187	35	138	141	55	164
Días Acumulados <b>195</b>			Días Acumulados <b>173</b>			Días Acumulados <b>219</b>		

De acuerdo con el Cuadro 8, la disponibilidad de humedad en los suelos arcillosos del Rancho Cofradía (datos de campo), son 180 días acumulados (días húmedos + medio secos) corresponden al periodo de Junio a Noviembre; en el caso de los suelos francos del campo agrícola del CUCBA, el periodo de humedad disponible es hasta de 325 días acumulados, abarcando desde junio a mediados de abril. Para los suelos del rancho Los Agaves, los 261 días acumulados con disponibilidad de humedad (días húmedos + medio secos) comprenden de junio a febrero.

#### **Sección de control de humedad del suelo**

Los límites de la SCHS determinados en campo, corresponden desde la superficie del suelo hasta una profundidad en que se encuentran las raíces de las plantas, especialmente las cultivadas; por ende suponemos que así se delimita la profundidad a la que éstas disponen del

agua en el suelo. Generalmente el límite superior de la SCHS presenta diferencias en su profundidad, debido principalmente al efecto de la textura y a la condición de labranza; mientras que en el límite inferior los valores presentan condiciones más homogéneas. Los valores en los límites superior e inferior de la SCHS, en la mayoría de los suelos, se encuentran dentro de los intervalos citados por la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006). Estas condiciones son especialmente para suelos profundos y no se consideran aspectos como las grietas, las diferencias en textura, estructura, y porosidad, así como condiciones de perfiles con poca profundidad por la presencia de duripanes con contactos líticos y paralíticos (Jarauta, 1988). Debido a estos conceptos de importancia vital en la disponibilidad de agua y temperatura en los suelos, se requiere de la revisión del concepto de SCHS como la define la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006); ya que las condiciones reales de un gran número de suelos, no corresponden exactamente con la definición señalada para los suelos con texturas arcillosas, francas y arenosas. Para el caso de suelos arcillosos del Rancho Cofradía, la SCHS presenta variaciones significativas, respecto de la determinada en la definición de la Taxonomía de Suelos.

El perfil de humedad del suelo considerado por el modelo se extiende desde la superficie hasta una profundidad donde se tienen 200 mm de agua disponible a capacidad de campo (CC), es decir, el doble que el valor propuesto por C. W. Thornthwaite (100 mm). El perfil es dividido en ocho capas, de las cuales, cada una retiene 25 mm de agua disponible; la segunda y tercera capa forman la "sección de control de humedad".

### **Perfiles de humedad**

Durante los ciclos 2009-2010 y 2010-2011 en que se registraron las precipitaciones y la infiltración de éstas en el perfil de los suelos representativos de los lotes experimentales descritos en este documento, se manifiesta una marcada variabilidad del estado de la SCHS; durante las estaciones de verano y otoño, la SCHS se encuentra húmeda en todas partes (H); manifestando un pequeño decremento en el límite superior de la sección de control, debido a la presencia de canícula que no es muy marcada en esta región. Mientras que en las estaciones de invierno y primavera se presenta la mayor variabilidad, estando completamente seca en diciembre para los suelos arcillosos del Rancho Cofradía, en el caso de los suelos francos del CUCBA, aun cuando el límite superior de la SCHS se encuentra seca (S), el límite inferior presenta humedad, por lo que el suelo esta medio seco (M/S); en cuanto a los suelos arenosos

del Rancho Los agaves, en diciembre está totalmente seco el límite superior de la SCHS, mientras que el límite inferior está seco a mediados de febrero. Si se comparan las gráficas obtenidas de los lotes experimentales, con el modelo de Newhall, encontramos que éste sobreestima el régimen de humedad (régimen Tropustico údico) para los tres lotes con texturas diferentes; ya que estima que la SCHS se encuentra húmeda (H) hasta el mes de marzo, lo que difiere de los resultados de las gráficas señaladas, cuyo resultado define un régimen Tropustico típico para los tres suelos de los lotes experimentales, disminuyendo una categoría de las subdivisiones propuestas por Newhall.

Considerando que los perfiles de los tres lotes experimentales son profundos, la SCHS debería presentar una gran estabilidad, por la capacidad de retención de humedad y debido a las precipitaciones que en la región Centro del estado de Jalisco son del orden de los 900 mm anuales; sin embargo, en los suelos arcillosos se muestra gran variación de SCHS, ya que está seca (10-30 cm) en mayo, cuando varía de ligeramente húmeda a húmeda después de los 35 cm de profundidad y se tiene presencia de raíces hasta los 100 cm. En los suelos francos del CUCBA, en el mismo mes, la SCHS se encuentra ligeramente húmeda en el límite inferior, y el contenido de raíces se encuentra hasta los 52 cm de profundidad; mientras que en los suelos arenosos del Rancho Los Agaves, la sección de control está seca desde febrero y la presencia de raíces hasta una profundidad de 65 cm. Como se aprecia en suelos francos y arenosos la humedad y las raíces se encuentran dentro de los límites de la SCHS, mientras que en suelos arcillosos no se cumple esta condición, por lo que habrá de ajustarse el criterio que define esta sección de control en la Taxonomía de Suelos.

### **Regímenes de humedad**

Como resultado de las condiciones de los perfiles de los tres tipos de suelos muestreados y ajustando los niveles de humedad en el modelo de simulación, se obtiene el régimen Tropustico típico, cuya probabilidad es mucho mayor ya que al compararlo con las gráficas de humedad de los lotes experimentales, el avance de la humedad en el suelo es muy similar, con escasa variación en los días con humedad o secos; mientras el modelo de simulación sobreestima la humedad en la SCHS, proporcionando un régimen Tropustico údico.

### **Discusión del modelo de simulación Newhall (V.1.62010)**

Se considera que los límites de la SCHS deben establecerse de tal forma que la mayoría de las raíces de las plantas queden comprendidas dentro de éstos, ya que extraen tanto la humedad como los elementos nutritivos para su crecimiento y desarrollo. La definición de la Taxonomía de Suelos para suelos francos y arenosos, resulta adecuada conforme a la descripción de los perfiles representativos, pero para suelos arcillosos queda demasiado ajustada, ya que la SCHS está seca aun cuando se tiene humedad y presencia de raíces por debajo de ésta.

Conforme a los aspectos señalados en párrafos anteriores y las comparaciones con los perfiles de humedecimiento de los tres tipos de suelos, se deben considerar criterios en el límite de la SCHS, así como la textura del suelo entre otras características, para ajustar el modelo de simulación a regiones con suelos de diferentes texturas, como es el caso del presente trabajo, ya que el modelo de simulación de Newhall solo contempla un perfil idealizado con profundidad estándar, dividido por ocho capas, mientras que en la realidad se tienen perfiles con diferentes horizontes y profundidades como los aquí representados.

El modelo de simulación Newhall considera como ingreso de humedad al perfil de suelo, toda la precipitación ocurrida, a menos que esté saturado; pero no considera la presencia de tormentas que saturan la superficie del suelo y producen un efecto de impermeabilización, por lo que ocurre escurrimiento superficial y las precipitaciones no penetran en su totalidad; por otra parte el modelo de simulación solo emplea datos de lluvia media mensual, por lo que los datos diarios o semanales de precipitación, como los del presente trabajo no se pueden emplear, siendo importante en el diseño del modelo la posibilidad de emplear datos diarios o semanales y mensuales de precipitación.

En cuanto a la cantidad de agua extraída del perfil de suelo, se considera la ejercida por la capacidad de la evapotranspiración potencial mensual (ETP) que se basa en el balance de humedad de C. W. Thornthwaite (1948), cuya capacidad de almacenamiento es de 100 mm, mientras que el modelo Newhall considera una capacidad 200 mm; sin embargo en la versión 1.6 del 2010, se puede manipular la capacidad de almacenamiento en láminas menores como en este trabajo, con el fin de ajustar el cálculo del modelo para que su respuesta de salida sea muy similar a los datos de humedad a través del año medidos en suelos con diferente textura.

## **CONCLUSIONES**

Los perfiles de suelo de los sitios representativos de suelos arcillosos, suelos arenosos y suelos francos, presentan diferencias estructurales y de composición y propiedades de horizontes.

El modelo de simulación de Newhall sobreestima la humedad almacenada del suelo, cuando se utiliza el valor predeterminado para una lámina de 200 mm para la capacidad de retención de humedad en el suelo.

Los valores de capacidad de retención de humedad del suelo, que describen de una manera más realista la humedad disponible en el suelo utilizando el modelo Newhall, son 70 mm en suelos arcillosos, 80 mm en suelos francos y 90 mm en suelos arenosos. Sin embargo, en el caso de suelos arcillosos, el intervalo 10-30 cm de profundidad de la SCHS propuesta por el sistema de Taxonomía de Suelos no corresponde con 70 mm de CRHS, por lo que los límites de profundidad de la SCHS para suelos arcillosos deben ser reconsiderados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, más las consideraciones expuestas, no se puede aplicar en forma generalizada el modelo de Newhall, por lo que se debe contemplar el uso de ciertas modificaciones para cada región específica y para diversas características de los suelos en los que se requiera la estimación de regímenes de humedad. En resumen, el modelo de simulación debe adaptarse a las condiciones pedológicas (textura, profundidad, presencia de duripanes y grietas, infiltración y extracción del agua del suelo) y climáticas (cantidad, distribución, intensidad y persistencia de la lluvia) de la región de estudio.

En este trabajo solo se consideraron los suelos de zonas agrícolas, debido a que se cuenta con mayor cantidad de información, ya que en suelos de montaña se debe considerar la profundidad, la topografía (pendiente y relieve), cubierta vegetal y rugosidad del suelo.

## **LITERATURA CONSULTADA**

- Bonfante A., Basile A., Langella G., Manna P., and Terribile F. 2011. A physically oriented approach to analysis and mapping of terroirs. *Geoderma* 167-168, 103-117.
- Guswa A. J., Freyberg D.L. 2002. On using the equivalent conductivity to characterize solute spreading in environments with lowpermeability lenses. *Water Resour Res* 38:1132.
- Hillel, D. (1985). *Soil and water. Physical principles and processes*. Academic Press Inc. New York. USA.

- Ibañez V. y Gasco J. M. 1983. Modificaciones al modelo matemático propuesto por Newhall, F., para la estimación del régimen de humedad del suelo. INIA. Serie: Rec. Nat. No 18. Madrid, España.
- Jarauta, B. E. 1988. Determinación del régimen de humedad de los suelos de secano del área meridional de Lleida. Memoria de difusión restringida. Diputación Provincial de Lleida. España.
- Jarauta, B. E. 2006. Modelos matemáticos del régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación del régimen de humedad de los suelos del área meridional de Lleida. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Joffe, J. S. 1949. Pedology. 2ª Ed. Pedology Pub. New Jersey. USA.
- Mac Lean A. E. 1975. Comunicación escrita. Ed. IICA. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica.
- Newhall, F. 1972. Calculation of soil moisture regimes from the climatic records. Soil Cons. Serv. USDA. Revision 4. Washington, D. C. USA.
- Newhall, F. and Berdanier, C. R. 1996. Calculation of soil moisture regimes for the climatic records. Soil Survey Investigations Report No 46. Natural Resources Conservation Service; Lincoln, NE. USA.
- Newhall, F. 2010. Calculation of soil moisture regimes from the climatic records. Version 1.6. Soil Cons. Serv. USDA. Washington, D. C. USA.
- Ruiz-Corral J. A., I. J. González A., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá G., S. Espinoza V. y H. E. Flores L. 2012. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1981-2010). Libro Técnico No 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. México.
- Sánchez Meca D. 1997. Teoría de la naturaleza. Johann Wolfgang von Goethe. Clásicos del Pensamiento. Editorial Tecnos. Madrid, España.
- Topete-Ángel J. P. 2005. Regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco. CUCBA, U de G. Jalisco, México.
- Thorntwaite C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climates. Trad. Pérez, E. M. Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XXI, 1967. No 3. SRH. México.
- USDA. 1975. Soil Taxonomy. Soil Survey Staff. EUA.
- USDA. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Soil Survey Staff. 10ª Ed. Trad. Carlos A. Ortiz-Solorio y María del Carmen Gutiérrez-Castorena. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. México.
- Van Wambeke A. 1987. Soil Moisture and Temperatura Regimes of Central America, Caribbean, Mexico. SMSS Technical monograph No 16. Cornell University. USDA.

**6. USO DEL MODELO NEWHALL PARA REPRESENTAR LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA HUMEDAD DEL SUELO EN JALISCO, MEXICO.**

(Aprobado para su impresión por Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5 de febrero de 2014. Ref.467-14. Vol. Esp. No 8.)

# **USO DEL MODELO NEWHALL PARA REPRESENTAR LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA HUMEDAD DEL SUELO EN JALISCO, MEXICO.**

## **USING THE NEWHALL MODEL TO DEPICT THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON SOIL MOISTURE IN JALISCO, MEXICO**

Jorge Pedro Topete Ángel<sup>1</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2</sup>, Diego Raymundo González Eguiarte<sup>1</sup>, Gabriela Ramírez Ojeda<sup>2</sup>, Noé Durán Puga y José Ron Parra<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera a Nogales, Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. CP 45110. Tel. 10 (33)37771150; <sup>2</sup>INIFAP, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, Km 8 Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno. 47600 Tepatitlán, Jalisco, México.

*\*Autor de correspondencia. ruiz.ariel@inifap.gob.mx.*

### **RESUMEN**

El presente estudio tuvo como objetivo estimar los impactos del cambio climático del período 2040-2069 sobre la humedad del suelo y la sequía en tierras agrícolas del estado de Jalisco, México, considerando suelos de tres grandes clases texturales: de textura gruesa, de textura media y de textura fina. Para representar la climatología futura mencionada anteriormente, se utilizaron datos simulados de precipitación y temperatura a partir del modelo GCM MPIM-ECHAM5 con reducción de escala (Método Delta) y escenario de emisiones de gases efecto invernadero A2. Esta información fue recuperada del sitio Earth System Grid (ESG) de WorldClim en forma de imágenes grid, las cuales fueron transformadas en imágenes raster con una resolución de 2.5 minutos de arco. Se implementó el uso del modelo Newhall con estos datos y con los datos climáticos correspondientes al periodo 1961-1990 para simular días húmedos, días secos y días medio secos, así como el número total de días consecutivos húmedos durante el año. Los resultados de las simulaciones de Newhall para ambos períodos climáticos se compararon a través de un análisis estadístico para determinar el posible impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de humedad del suelo en las áreas agrícolas de Jalisco. Tendencias estadísticamente significativas ( $P < 0.05$ ) mostraron que la temperatura y evapotranspiración potencial se incrementarán, mientras que la longitud de la estación de crecimiento disminuirá, siendo este efecto más significativo en sitios de textura media, seguidos por los de textura fina. Otras tendencias identificadas (aunque no

estadísticamente significativas) fueron que el número días húmedos y medio secos disminuirá; como contraparte, los días secos se incrementarán. Estos resultados señalan la necesidad de implementar medidas de adaptación enfocadas en la economía del agua en los suelos del Estado, así como tratamientos de suelos para mejorar la capacidad de retención de humedad y proyectos de captación de agua *in situ*.

**Palabras Clave:** Cambio climático; Humedad del suelo; Textura del suelo; Modelo Newhall.

## **ABSTRACT**

The present study was aimed to depict the impacts of climate change of the period 2040-2069, over soil moisture and drought in the agricultural lands of Jalisco, México, considering soils with three textural classes: coarse, medium and fine texture. Simulations of precipitation and temperature conditions through the GCM MPIM-ECHAM5 EE A2 (Delta Downscaling Methodology) were considered for the period 2040-2069, which were retrieved from the Earth System Grid (ESG) of World Clim site, as grid images and then transformed into raster images with a resolution of 2.5 arch minutes. Newhall Model was used with these climate data and with those for the period 1961-1990 to simulate moist days, dry days, semi-dry days and the total of consecutive moist days during the year. Results of Newhall simulations for both climatic periods were compared throughout statistical analysis in order to elucidate the impact of climate change on soil moisture availability for agriculture in the agricultural lands of Jalisco. Tendencies statistically significant ( $P < 0.05$ ) showed that temperature and potential evapotranspiration will increase, while growing season length will decrease. Other tendencies identified (but not statistically significant) are that the number of moistened and semi dry days will diminish and as a counterpart the number of dry day will increase. These results show the need of implementing adaptation measures focused to soil wáter economy as well as soil treatments to improve its water holding capacity and *in situ* water catchment.

**Key Words:** Climate Change; Soil Moisture; Soil Texture; Newhall Model.

## INTRODUCCION

La disponibilidad de humedad en el suelo es una componente agroclimática de alta relevancia para la práctica de agricultura. Bajo condiciones de temporal, la disponibilidad de humedad en el suelo es una función del balance hídrico, el cual está determinado por la cantidad de precipitación ocurrente, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y las pérdidas de agua a través de procesos como la evapotranspiración, el escurrimiento y la percolación profunda (Ines *et al.*, 2001). En áreas tropicales y subtropicales, la estación de crecimiento para los cultivos está básicamente determinada por la duración de humedad disponible en el suelo, lo cual depende de la textura de éste y va desde el inicio de la temporada de lluvias hasta la finalización de ésta, más el número de días requerido para que se agote (a través de la evapotranspiración del cultivo) la humedad remanente almacenada en el suelo (Eitzinger *et al.*, 2004).

El cambio climático altera los patrones de temperatura, nubosidad y precipitación, y, como consecuencia, también los patrones de evapotranspiración y de humedad disponible en el suelo (Hatfield *et al.*, 2011; Ojeda *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2011).

El cambio en precipitación tiene un efecto menor sobre la humedad del suelo en cuencas húmedas, pero en cuencas secas el porcentaje de cambio en los niveles de humedad del suelo puede ser mayor que el porcentaje de cambio en la lluvia; esto es de gran importancia en suelos arcillosos y delgados. Comparada con la precipitación, los incrementos de la temperatura por sí solos tienen un impacto insignificante sobre el escurrimiento y humedad del suelo (Chiew *et al.*, 1995). Cuando se mantienen constantes todas las variables que influyen en la ETP y sólo se incrementa la temperatura; la ETP de referencia aumenta 3.4% por cada grado Celsius de incremento (Kimball, 2007).

El cambio climático también puede incrementar la lluvia en algunas regiones, pero esto es generalmente acompañado por un incremento en la variabilidad de la lluvia, el cual al interactuar con temperaturas más altas y desecantes, puede conducir a sequías regionales (Izaurrealde *et al.*, 2011).

En México, uno de los estados más importantes para la agricultura de temporal es Jalisco. Estudios recientes han demostrado que la temperatura de las áreas agrícolas de México se ha venido incrementando de manera perceptible desde la década de los años 1990's del siglo pasado (Ruiz *et al.*, 2014; Zarazúa *et al.*, 2011). Existen evidencias de la presencia del cambio climático en Jalisco, México, las cuales muestran cambios en los patrones regionales de lluvia durante las últimas décadas (Ruiz y Regalado, 2014); que a su vez están causando una disminución gradual de la estación de crecimiento (Ruiz *et al.*, 2000a; Zarazúa *et al.*, 2011) y una reducción en la superficie

potencial de producción de cultivos (Ruiz *et al.*, 2000b; Zarazúa *et al.*, 2011). Los escenarios climáticos predichos para el siglo XXI, establecen en términos generales, un incremento de la temperatura y una ligera disminución de la precipitación anual en las zonas de cultivo (IPCC, 2007; Ruiz *et al.*, 2011). Las predicciones para el estado de Jalisco también establecen un incremento sostenido de la temperatura, durante las primeras cinco décadas del presente siglo, hasta alcanzar un incremento de 1.5 a 2.5°C durante el período 2051-2060 (Ruiz *et al.*, 2011; Ruiz y Regalado, 2014). Las consecuencias de estos cambios están directamente ligadas a un balance hídrico menos positivo en suelos, y una reducción en la estación de crecimiento en áreas tropicales y subtropicales (Ojeda *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2011).

Los cambios presentes y futuros en humedad del suelo de las áreas agrícolas están ya demandando el desarrollo de medidas de adaptación para los sistemas agrícolas, pero uno de los primeros datos que se deben conocer es la dimensión de estos cambios. De acuerdo con lo anterior, el objetivo de este estudio fue estimar el efecto del cambio climático sobre la estacionalidad y la duración de la humedad del suelo en las tierras agrícolas de temporal de Jalisco, mediante la utilización del Modelo Newhall.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Datos climáticos de referencia.**

Se localizaron las estaciones meteorológicas que se ubican en las áreas agrícolas del estado de Jalisco, resultando 73 en total: 16 en suelos de textura fina, 5 en suelos de textura gruesa y 52 en suelos de textura media. De estas estaciones se recuperó la información de temperatura y precipitación normal mensual y anual para el periodo 1961-1990. Esta información fue obtenida de la página web del CIAT ([http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPage/](http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPPage/)) y fue considerada como la climatología de referencia en los análisis comparativos contra escenarios de cambio climático. La distribución geográfica de las estaciones se puede ver en la Figura 1.

### **Análisis estadístico**

Se analizó la normalidad de los datos de precipitación y temperatura de las estaciones de suelos de textura gruesa, de textura fina y de textura media, mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente mediante un análisis de varianza se compararon los valores de temperatura y precipitación anual entre los tres grupos, los cuales presentaron

una  $n$  (estaciones meteorológicas) distinta entre sí. Finalmente se realizó una prueba  $f$  y de  $t$  para muestras apareadas, considerando para las climatologías 1961-1990 y 2040-2069 los valores de los siguientes parámetros: temperatura media anual ( $T_a$ ), precipitación acumulada promedio anual ( $P_a$ ), evapotranspiración potencial acumulada promedio anual ( $ETPa$ ), número de días húmedos ( $H$ ), número de días medio secos ( $MS$ ), número de días secos ( $S$ ) y longitud de la estación de crecimiento ( $LEC$ ). La longitud de la estación de crecimiento se estimó considerando los días húmedos y días medio secos.

### **Simulación de la humedad del suelo en suelos de textura gruesa, media y fina**

Se utilizaron los promedios normales de precipitación y temperatura durante el periodo 1961-1990 y 2040-2069 de las 73 estaciones meteorológicas, para simular la condición de humedad del suelo en condiciones de textura gruesa, fina y media. Con dichos valores normales se corrió el modelo

Newhall 1.6 con el propósito de comparar la condición de referencia contra la condición futura del régimen hídrico del suelo. Los datos climáticos 2040-2069 fueron extraídos de imágenes generadas a través de procesos de reducción de escala (Método Delta) sobre experimentos realizados con el modelo de circulación general (GCM) GCM MPI\_ECHAM5 y escenario de emisiones A2. Las imágenes tienen una resolución de 2.5 minutos de arco (Ramírez y Jarvis, 2010). La climatología 2040-2069 fue obtenida también de la página web del CIAT ([http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPage/](http://gisweb.ciat.cgiar.org/GCMPPage/)).

El Modelo Newhall se enfoca a determinar los regímenes hídrico y térmico en suelos, y fue adoptado por el Soil Survey Staff de los Estados Unidos para describir los regímenes de humedad utilizados en el Sistema de Taxonomía de Suelos de EUA (Soil Survey Staff, 1975, 1992). En el Modelo Newhall el suelo es referido como una reserva de agua con capacidad fija, el agua se añade por precipitación, la cantidad excedente de la capacidad de retención de humedad del suelo se pierde por lixiviación profunda o escurrimiento y el agua retenida en el suelo se pierde por evapotranspiración. Este modelo utiliza el método de Thornthwaite (Thornthwaite, 1948) para estimar la evapotranspiración a partir de datos de temperatura y duración del día, para lo cual se proporciona el dato de latitud. En la implementación del modelo, de acuerdo con Topete et al. (2014) el perfil de humedad considerado para suelos de textura gruesa, media y fina fue de 90 mm, 80 y 70 mm, respectivamente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis estadístico de temperatura y precipitación anual de las estaciones meteorológicas que corresponden a los tres grupos texturales, se muestran en el Cuadro 1. Como puede observarse todas las series de datos climáticos resultaron con una distribución normal, aun cuando ésta fue analizada con estadísticos distintos de acuerdo con el número de observaciones de los tres grupos texturales. El análisis de varianza no reportó diferencia significativa entre grupos texturales para precipitación y temperatura (Cuadro 2).

**Cuadro 1. Estadísticos básicos, normalidad y valor del estadístico Kolmogorov-Smirnov para datos normales de precipitación y temperatura anuales periodo 1961-1990 en sitios con textura de suelo gruesa, media y fina.**

Variable (n)	Media	Desviación estandar	Kolmogorov-Smirnov	Shapiro-Wilks	Normalidad
<i>Lluvia (mm)</i>					
Textura gruesa (5)	993.84	224.40	0.341	0.833	Normal
Textura media (52)	797.94	215.11		Normal	
Textura fina (16)	892.12	194.69		0.854	Normal
<i>Temperatura (°C)</i>					
Textura gruesa (5)	23.2	2.79	0.493	0.744	Normal
Textura media (52)	19.81	2.77		Normal	
Textura fina (16)	20.02	1.76		0.896	Normal

**Cuadro 2. Análisis de varianza para datos de temperatura y precipitación de sitios de tres grupos texturales.**

Fuente de variación	GL	CME	F	Significancia
Entre grupos	2	124,558.675	2.786	0.069
Dentro de grupos	70	44,713.313		
Total	72			

Los resultados de las pruebas F de comparación de varianzas y pruebas t de comparación de medias para los periodos 1961-1990 *versus* 2040-2069 en relación con los parámetros de humedad resultantes de la simulación con el modelo Newhall 1.6, se muestran en el Cuadro 3. Como puede observarse, se identificaron seis casos en que las medias de los parámetros son estadísticamente diferentes, la mayoría con una significancia  $P \leq 0.01$ . Tres de estos casos

correspondieron a los sitios con suelo de textura media y los otros tres a sitios de con suelo de textura fina. En el caso de los sitios con textura gruesa no se identificaron casos de diferencias estadísticamente significativas ni para la prueba de varianzas (F) ni para la prueba de medias (t).

Los valores de los parámetros analizados de manera comparativa para las climatologías 1961-1990 y 2040-2069, se pueden ver en los Cuadros 4 (sitios de textura gruesa), 5 (sitios de textura fina) y Cuadro 6 (sitios de textura media).

Dentro de los casos de variación significativa del valor de la media en sitios de textura fina, sobresalen la temperatura media anual, la ETPa y la longitud de la estación de crecimiento, incrementándose la temperatura 2.5°C y la ETPa 21%, mientras que la LEC se redujo 10 días al pasar de 1961-1990 a 2040-2069 (Cuadro 5). Para cambio significativo de la varianza se reporta el de días medio secos al pasar de un valor de 173.5 a 784.7, es decir se tornaría en un parámetro muy cambiante en el futuro (2040-2069), lo cual coincide con reportes previos sobre el incremento del carácter aleatorio de los parámetros de la precipitación y humedad del suelo con la presencia del cambio climático (IPCC, 2007).

Con relación a los casos de variación significativa del valor de la media en sitios de textura media, destacan la Ta, ETPa, MS y LEC, al incrementarse 26.6% la primera, 2.7°C la segunda, disminuir 15% MS y disminuir 27% la LEC. Con relación a la varianza, los cambios significativos se identifican en la LEC, con disminución 240% en la varianza al pasar de 1961-1990 a 2040-2069. Esto como resultado de la disminución de los más altos valores de LEC (Cuadro 6).

**Cuadro 3. Resultados de la prueba de t y prueba de F en la comparación de medias 1961-1990 versus 2040-2069 de diversos parámetros climáticos y de humedad del suelo en sitios de textura gruesa, textura fina y textura media.**

Parámetro	F	P (misma varianza)	t	P (misma media)
<i>Suelos de textura gruesa</i>				
Precipitación anual (mm)	6.301	0.102	0.018	0.986
Temperatura media anual (°C)	1.229	0.846	-1.115	0.297
ETP anual (mm)	1.512	0.698	-1.157	0.281
Días húmedos al año	1.186	0.873	0.550	0.597
Días medio secos al año	1.414	0.745	0.615	0.555
Días secos al año	1.024	0.982	-0.631	0.545
Longitud de la EC (días)	1.093	0.933	0.471	0.650
<i>Suelos de textura fina</i>				
Precipitación anual (mm)	1.336	0.582	1.048	0.303
Temperatura media anual (°C)	1.137	0.806	3.979	<b>0.001**</b>
ETP anual (mm)	1.966	0.202	3.588	<b>0.001**</b>
Días húmedos al año	1.516	0.429	-1.392	0.174
Días medio secos al año	4.524	<b>0.006**</b>	-0.032	0.974
Días secos al año	1.106	0.848	1.443	0.159
Longitud de la EC (días)	1.158	0.780	-2.135	<b>0.041*</b>
<i>Suelos de textura media</i>				
Precipitación anual (mm)	1.638	0.081	-1.299	0.196
Temperatura media anual (°C)	1.130	0.663	-5.243	<b>0.001**</b>
ETP anual (mm)	1.531	0.132	-4.900	<b>0.001**</b>
Días húmedos al año	1.536	0.128	0.460	0.646
Días medio secos al año	1.598	0.097	2.920	<b>0.004**</b>
Días secos al año	1.2961	0.357	1.393	0.166
Longitud de la EC (días)	2.403	<b>0.002**</b>	7.424	<b>0.001**</b>

Al analizar de manera global la información de los Cuadros 4, 5 y 6 se puede además observar que en términos generales el efecto del cambio climático se manifiesta a través de las siguientes tendencias: a) un incremento de precipitación en sitios de textura fina y textura media; b) un incremento de la temperatura en sitios de todo tipo textural; c) un incremento de la evapotranspiración potencial en sitios de todas las clases texturales; d) una disminución del número de días húmedos durante el año en sitios de todos los grupos texturales, siendo más marcada esta tendencia en sitios de textura gruesa; e) un decremento de los días medio secos en el año en sitios de textura gruesa y media; f) un incremento del número de días secos al año en sitios de todos los grupos texturales, siendo más marcada esta tendencia en suelos arenosos y de textura media; y, g) una disminución de la longitud de la estación de crecimiento en sitios de todas las clases texturales, siendo más evidente en el caso de la textura media, donde la disminución promedio equivale a 54 días, sobresaliendo los casos de Pihuamo, Santa María de los Ángeles, Tapalpa, Atemajac, Tacotán, San Juan de Potrereros, Corrinchis II, Presa Achimec, El Nogal, Bocas, Mazamitla, San Gaspar de los Reyes, Jilotlán, Colotlán y Ajojúcar con un decremento de la LEC de 129, 116, 116, 115, 114, 95,93,93, 86, 83, 76, 75, 69, 66 y 60 días, respectivamente. La disminución de la LEC en el estado de Jalisco por efectos del cambio climático ya había sido reportada de manera previa por Ruiz et al. (2000) y fue atribuida por estos autores a la combinación de una disminución de la precipitación con un incremento de la evapotranspiración potencial producto del incremento de temperatura. En el contexto del presente estudio la disminución en la LEC se explica directamente por la disminución del número de días húmedos y medio secos y por el incremento del número de días secos, e indirectamente por el incremento de la evapotranspiración potencial.

En el caso de los sitios de textura gruesa la precipitación prácticamente no varía atendiendo al valor promedio de los cinco sitios (Cuadro 4); para los sitios de textura fina (Cuadro 5) y de textura media (Cuadro 6) la precipitación se incrementó en promedio, sin embargo este incremento no compensó el incremento en la ETP, por lo que la resultante fue el mencionado decremento de la LEC en los sitios de todas las clases texturales. Al respecto, Chiew et al. (1995) mencionan que el cambio en precipitación tiene un efecto menor sobre la humedad del suelo en cuencas húmedas, pero en cuencas secas el porcentaje de cambio en los niveles de humedad del suelo puede ser mayor que el porcentaje de cambio en la lluvia, siendo de gran importancia en suelos arcillosos y delgados.

Izaurre et al. (2011) mencionan que el incremento de precipitación que puede causar cambio climático, generalmente es acompañado por un incremento en la variabilidad de la lluvia, el cual al interactuar con temperaturas más altas y desecantes, puede conducir a sequías regionales. Esto es lo que al parecer ocurriría en sitios de textura fina, donde la precipitación se incrementaría 8.7% con el cambio climático de 2040-2069, pero la varianza de la precipitación pluvial se incrementaría 33.6%.

Las consecuencias que los cambios discutidos anteriormente podrían traer a los cultivos que actualmente se producen bajo condiciones de temporal en el estado de Jalisco, tienen que ver con un incremento de la tasa de desarrollo debido al incremento de temperatura (Ojeda et al., 2011), un incremento de la demanda hídrica del cultivo por aumento de la evapotranspiración, pero a su vez una posible disminución del requerimiento hídrico del cultivo debido al acortamiento del ciclo de producción por efecto del incremento en la velocidad de desarrollo de la planta (Ruiz et al., 2011).

Los cambios en la longitud de la estación de crecimiento harán necesaria una medida de adaptación consistente en el cambio de variedades de siembra o en el cambio de patrón de cultivos, en sitios donde la disminución de la LEC es muy drástico (Zarazúa et al., 2011). El incremento en la tasa de desarrollo del cultivo y en consecuencia la reducción del ciclo de producción, impactará directamente en el acortamiento de la fase reproductiva de los cultivos y por tanto en su rendimiento (Conde et al., 2006).



**Cuadro 4. Parámetros de simulación de la humedad del suelo con el modelo Newhall 1.6 en sitios con textura gruesa, en dos climatologías: A: 1961-1990; B: 2040-2069.**

Estación	Pa (mm)		Ta (°C)		ETPa (mm)		DIAS H		DIAS MS		DIAS S		Longitud EC	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
El Chiflón	1375.2	1148	26.1	27.8	1528	1738	145	123	26	30	189	207	163	154
Guadalajara	990	985	21	22.2	1002	1117	164	163	39	42	157	155	200	197
La Experiencia	934	974	21	22.5	1008	1141	163	160	38	41	159	159	201	194
Quito	866	959	21.5	24.8	1038	1380	160	148	51	23	149	189	193	165
Tomatlán	804	913	26.4	29.1	1526	1875	108	103	31	32	221	225	119	115
Promedio	993	996	23.2	25.3	1220	1450	148	139	37	34	175	187	175	165
Varianza	50353	7991	7.805	9.597	78523	118710	558.5	662.3	89.5	63.3	892	914	1226	1121

Pa: Precipitación acumulada promedio anual

Ta: Temperatura media anual

ETPa: Evapotranspiración potencial acumulada promedio anual

H: Días húmedos en el año

MS: Días medio secos en el año

S: Días secos en el año

EC: Estación de crecimiento

**Cuadro 5. Parámetros de humedad del suelo modelados en sitios con textura fina, en dos climatologías: A: 1961-1990; B: 2040-2069.**

Estación	Pa (mm)		Ta (°C)		ETPa (mm)		Días húmedos		Días medio secos		Días secos		Longitud de EC	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Ahualulco Antonio	849	967	20.9	23.2	1002	1212	136	141	42	27	182	192	160	160
Escobedo	966	982	19.4	23.3	921	1212	149	143	67	26	144	191	190	161
Atequiza	836	934	20.3	22.6	967	1149	147	147	33	31	180	182	177	171
Chapala	901	901	20.5	22.5	962	1131	154	149	26	31	180	180	177	173
El Salitre	850	922	20.5	24.25	975	1329	137	132	27	26	196	202	161	149
Etzatlán	1045	1033	20.2	22.7	951	1153	157	147	58	28	145	185	185	165
Jamay	752	866	18.9	22.7	879	1147	146	137	38	38	176	185	184	160
Jocotepec	850	781	19	21.9	878	1079	163	148	60	35	137	148	197	174
La Red	868	971	18.4	21.6	853	1061	164	149	36	139	160	172	197	176
Mezcala	880	809	20	19.3	941	906.2	156	163	43	50	161	147	186	200
Palo Verde	715	894	18.2	21.2	838	1028	156	157	30	42	174	161	186	189
Poncitlán	768	906	19.4	22.7	905	1154	143	142	43	36	174	182	173	164
Presa El Volantín	664	832	17.4	19.8	808	930.6	167	157	38	48	155	155	200	191
San Marcos	1211	1144	22.3	23.8	1090	1254	162	146	39	23	159	191	186	163
Tizapán El Alto Villa	703	836	20	22	938	1088	142	154	36	31	182	175	169	177
Purificación	1416	1743	24.9	27.6	1379	1722	145	142	16	17	199	201	161	153
Promedio	892	970	20.0	22.6	955	1160	152	147	39	39	169	178	180	170
Varianza	37903	50641	3.082	3.505	17491	34392	95.2	62.78	173.5	784.7	331.6	299.8	168.8	195.4

**Cuadro 6. Parámetros de humedad del suelo modelados en sitios con textura media, en dos climatologías: A: 1961-1990; B: 2040-2069.**

Estación	Pa (mm)		Ta (°C)		ETPa (mm)		Días húmedos		Días medio secos		Días secos		Longitud de EC	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Acatlán	774	840	20.5	22.7	973	1153	143	161	32	38	185	161	175	140
Ajojuacar	601	578	17.5	21.2	821	1042	154	142	50	35	156	183	200	140
Apazulco	827	863	25.9	28.8	1486	1854	110	105	46	39	204	216	126	80
Atemajac	978	831	16	17.9	754	831.9	251	192	39	51	70	117	280	165
Atotonilco El A.	862	932	19.6	21.5	913	1052	172	176	68	61	120	123	233	196
Bocas	566	664	20.5	23.6	1002	1269	116	105	62	54	182	201	165	82
Cajón de Peña	1142	1235	25.6	28.9	1465	1846	139	127	28	31	193	202	154	117
Casa Llanta	719	776	19.5	22.3	917	1139	145	157	41	34	174	169	186	135
Colotlán	566	743	18.5	22.6	862	1173	135	151	75	33	150	176	192	126
Concepción B.A.	945	987	16.3	18.1	758	837.1	186	212	79	54	95	94	253	217
Corrinchis II	1112	1000	18.8	22.9	872	1176	174	154	59	36	127	170	233	140
Cuitzamala	564	992	25.2	28	1403	1768	65	117	52	33	243	210	75	117
Cuquio	760	912	17.9	20.9	833	1009	170	187	53	44	137	129	223	193
El Chante	878	892	21.9	26.1	1066	1540	148	125	42	31	170	204	173	124
El Nogal	752	896	16	19.2	752	886.1	215	204	60	63	85	93	255	169
El Puesto	565	624	21.5	20.4	1046	974.6	124	164	43	49	193	147	164	154
El Rosario	622	737	25	27.2	1407	1653	92	89	46	50	222	221	126	109
El Zapote	641	736	19.7	22.3	943	1139	141	142	45	41	174	177	186	134
Guachinango	946	923	19.5	21.7	916	1065	166	181	60	32	134	147	226	174
Hostotipaquillo	864	847	21.9	24.6	1051	1364	146	116	30	33	184	211	170	114
Huejúcar	573	704	17.9	20.9	843	1027	145	175	74	41	141	144	195	139
Ixtlahuacán R.	859	868	17.2	21	793	1012	173	171	55	42	132	147	228	162
Jilotlán	897	948	21.4	27.7	1032	1739	159	122	47	17	154	221	188	119
La Cuña	808	842	19.9	21.7	941	1073	148	157	47	58	165	145	190	179
La Huerta	920	1110	25.4	27.8	1448	1735	132	126	24	14	204	220	156	118
La Saucedá	630	663	17.5	21	820	1017	162	165	52	54	146	141	209	185
La Vega	890	966	21.5	23.9	1061	1284	141	159	33	37	186	164	171	137
Lagos de Moreno	606	669	17.6	21.2	824	1028	158	168	52	38	150	154	204	148

Magdalena	922	948	21.1	23.5	1021	1237	139	151	45	36	176	173	169	128
Mazamitla	935	945	16.2	17.3	755	803.6	216	203	57	65	87	92	261	185
Michoacanejo	580	752	17.1	21.3	799	1051	146	171	44	49	170	140	190	144
Paso del 40 II	552	606	17.6	20.7	823	995.2	154	160	43	54	163	146	192	153
Pihuamo	1620	1261	21.4	27.1	115	1668	214	128	45	22	101	210	253	124
Presa Achimec	599	672	18.1	21.3	851	1052	158	155	73	43	129	162	231	138
Presa Hurtado	865	826	19.4	22.6	905	1142	160	159	55	40	145	161	196	140
San Bernardo	549	765	17.9	20.4	839	974.6	142	208	48	55	170	97	190	195
San Gaspar R.	671	788	18	21.8	853	1100	160	168	64	43	136	149	224	149
Sn Juan Potreros	977	646	16	22.3	754	866.4	177	170	84	48	99	142	255	160
Sta. Ma. Angeles	678	785	18	18.6	849	1130	174	169	78	40	108	151	252	136
Tacotán	835	883	20.4	23.4	962	1217	195	165	57	29	108	166	248	134
Tapalpa	867	817	16	18.8	751	869.3	260	181	37	50	63	129	286	170
Tecolotlán	756	663	22.1	24.9	1096	1396	138	120	46	30	176	210	165	124
Promedio	798	847	19.8	26.6	951	1204	158	155	49	42	153	163	199	145
Varianza	46274	28250	7.68	779.8	54756	83830	1306	850.7	212	132.7	1661	1282	1932	803.8

## **CONCLUSIONES**

El cambio climático del periodo 2040-2069 impactará las condiciones de humedad del suelo en sitios de todas las clases de textura de suelo. Sin embargo, los cambios más significativos se observarán en sitios de textura media, seguidos por sitios de textura fina.

Los parámetros climáticos y de humedad del suelo que serán afectados con significancia estadística por el cambio climático son la temperatura, evapotranspiración potencial y longitud de la estación de crecimiento. Para temperatura y evapotranspiración potencial se identifica una tendencia de incremento, y para la longitud de la estación de crecimiento una tendencia de disminución, infiriéndose que el cambio climático será negativo en cuanto a la disponibilidad de humedad del suelo para la práctica de agricultura.

La disminución en la longitud de la estación de crecimiento guarda correspondencia con la disminución del número de días húmedos y medio secos, y con el incremento del número de días secos en el año.

## **LITERATURA CONSULTADA**

- Ines, A. V. M., P. Droogers, I. W. Makin and A. Das Gupta. 2001. Crop growth and soil water balance modeling to explore water management options. IWMI Working Paper 22. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 26 P.
- Chiew, F. H. S., P. H. Whetton, T.A. McMahon and A. B. Pittock. 1995. Simulation of the impacts of climate change on runoff and soil moisture in Australian catchments. *Journal of Hydrology*, 167(1-4):121-147.
- Conde, C., R. M. Ferrer, C. Gay y R. Araujo. 2006. Impactos del cambio climático en la agricultura en México. *Cambio Climático: una visión desde México*. INE México, D. F.
- Eitzinger J., M. Trnka, J. Hösch, Z. Žalud and M. Dubrovsky. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modeling*, 171:223-246.
- Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L.H., Izaurralde, R.C., Ort, D., Thomson, A.M. and Wolfe D. 2011. Climate impacts on agricultura: Implications for crop production. *Agron. J.* 103:351-370.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Metz, B.; Davidson, O.; Bosch, P.; Dave, R. and Meyer, L. (eds). Cambridge University Press, U.K. and U.S.A. 851 p.
- Izaurrealde, R. C., Thomson, A. M., Morgan, J. A., Fay, P. A., Polley, H.W., and Hatfield, J.L. 2011. Climate impacts on agriculture: Implications for forage and rangeland production. *Agron. J.* 103:371-381.
- Kimball, B. A. 2007. Global change and water resources. *In*: Lascano, R. J. and Sojka, R. E. (ed.). Irrigation of agricultural crops. 2nd edition. ASA, CSSA and SSSA. Madison, WI. *Agron. Monogr.* 30: 627-654.
- Newhall, F., and C.R. Berdanier. 1996. Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. Soil Survey Investigations Report No. 46, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE. 15 p.
- Ojeda, B.W., Sifuentes, I.E., Íñiguez, C.M. y Montero, M. M. J. 2011. Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia (México)*. 45: 1-11.
- Ruiz, C. J.A., J. L. Ramírez, D., F.J. Flores, M. y J.J. Sánchez, G. 2000a. Cambio climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México. *Fitotecnia*, 23(2):169-181.
- Ruiz, C. J.A., J.L. Ramírez, D., F.J. Flores, M. y J.J. Sánchez, G. 2000b. Cambio climático y efecto sobre las áreas potenciales para maíz en Jalisco, México. *Fitotecnia*, 23(2):183-193.
- Ruiz, C. J.A. 2014. Informe Final de Proyecto “Cambio climático y su impacto en el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 90 p.
- Ruiz, C. J.A., G. Medina G., J.L. Ramírez D., H.E. Flores L., G. Ramírez O., J.D. Manríquez O., P. Zarazúa V., D.R. González E., G. Díaz P. y C. de la Mora O. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):309-323.

- Ruiz, C. J.A. y J.R. Regalado R. 2014. Cambio climático y su impacto sobre la producción de alimentos de origen agrícola. En Tomo III: Medio Ambiente. Jalisco en el Mundo Contemporáneo-Aportaciones para una Enciclopedia de la Época. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México.
- Soil Survey Staff. 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. USDA, Soil Conservation Service. Agriculture Handbook 436. U.S. Government Print. Off. Washington, D.C., USA.
- Soil Survey Staff. 1992. Keys to Soil Taxonomy. Sixth Edition, 1994. USDA, Soil Conservation Service. Washington, D.C., USA.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38:55-94.
- Zarazúa, V. P., J. A. Ruiz C., D. R. González E., H. E. Flores L. y J. Ron P. 2011. Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en la Ciénega de Chapala, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):351-363.

**7. CAMBIO CLIMATICO Y TEMPERATURA DEL SUELO EN AREAS  
AGRICOLAS DEL CENTRO DE JALISCO, MEXICO**

(Revisado para su impresión por revista indexada)

**CAMBIO CLIMATICO Y TEMPERATURA DEL SUELO EN AREAS AGRICOLAS  
DEL CENTRO DE JALISCO, MEXICO  
CLIMATE CHANGE AND SOIL TEMPERATURE IN AGRICULTURAL LANDS OF  
CENTRAL REGION OF JALISCO, MEXICO**

**Jorge Pedro Topete Ángel<sup>1</sup>, José Ariel Ruiz Corral<sup>2\*</sup>,  
Diego Raymundo González Eguiarte<sup>3</sup>, José Ron Parra<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Departamento de Cs. Ambientales, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales; CP 45110; Tel: (0133) 3777 1150. <sup>2</sup>INIFAP Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, Km 8 Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, Tepatitlán, Jal., CP 47600, Tel: (01378) 782 0355, México.

<sup>3</sup>Departamento de Desarrollo Sustentable, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales; CP 45110; Tel: (0133) 3777 1150. <sup>4</sup>Depto. Producción Agrícola. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales; CP 45110; Tel: (0133) 3777 1150.

*\*Autor de correspondencia. [ruiz.ariel@inifap.gob.mx](mailto:ruiz.ariel@inifap.gob.mx)*

## **RESUMEN**

El objetivo del trabajo es estimar temperaturas de tipos de suelos en la región central del estado de Jalisco y su posible evolución por efecto del cambio climático. Se establecieron dos lotes experimentales en el valle de San Isidro Mazatepec, en suelos arcillosos (Rancho Cofradía) y arenosos (Rancho Los Agaves); durante dos ciclos completos (2009- 2011) se monitoreó semanalmente la temperatura en la Sección de Control de Humedad del Suelo (SCHS) de cada perfil, a la profundidad de 10-30 cm en suelo arcilloso y 30-90 cm en suelo arenoso, siendo coincidente la profundidad de 30 cm.

Las series de datos se sometieron a prueba de normalidad con el método Shapiro-Wilks, así como prueba de comparación de medias y varianzas de temperatura a 30 cm de profundidad para ambos suelos; se generaron ecuaciones de regresión lineal para estimar temperaturas del suelo a partir de temperaturas del aire. La prueba reportó normalidad en las temperaturas de los suelos arcillosos y arenosos, a la profundidad de 30 cm. Comparando la temperatura de la SCHS, ésta es mayor a menor profundidad del suelo, siendo una condición normal y el suelo arcillosos menos cálido que el arenoso; existiendo correlación positiva entre temperatura del aire y la del suelo. Las ecuaciones de regresión resultaron con un  $R^2$  de 0.72 hasta 0.81; con éstas se estimaron temperaturas del suelo de las dos localidades, para diferentes décadas desde 2010 hasta 2090.

El efecto del cambio climático es positivo sobre la temperatura del suelo, coincidiendo con la época de lluvias; el cambio climático favorecerá la mineralización del nitrógeno, en suelos de los sitios experimentales, manteniendo un  $Q_{10}$  de mineralización del N entre 2.0 y 8.0; aunque a mayor temperatura menor valor de mineralización conforme se incrementen éstas a finales del siglo XXI.

Se concluye que existe diferencia significativa entre la temperatura del suelo arcilloso y del arenoso a la misma profundidad (30 cm), siendo más cálido este último. El cambio climático incrementará las temperaturas del suelo por influencia de la temperatura del aire, pero el calentamiento del suelo será inferior al del aire, promoviendo la velocidad de germinación y desarrollo de plántulas de un cultivo así como procesos de mineralización de M. O., de mantenerse niveles de humedad de suelo actuales.

## **ABSTRACT**

The aim of this work is to estimate temperatures of soil types in the central region of Jalisco and its possible evolution due to climate change. Two experimental plots in the valley of San Isidro

Mazatepec in clay soils (Rancho Cofradía) and sandy (Rancho Los Agaves) were established; for two complete cycles (2009- 2011) temperature was monitored weekly in the Section of Soil Moisture Control (SCHS) of each profile, the depth 10-30 cm and 30-90 cm clay soil in sandy soil, being coincident depth of 30 cm.

Data sets were tested for normality with the Shapiro-Wilks method and test for comparison of means and variances of temperature at 30 cm depth for both soils; linear regression equations were generated to estimate soil temperatures from air temperatures.

The test reported normal temperatures in clay and sandy soils to a depth of 30 cm. Comparing the temperature of the SCHS, it is higher at lower soil depth, being a normal condition and sandy soil cooler than the clay soil; positive correlation exists between the temperature of the air and soil. Regression equations were with an  $R^2$  of 0.72 to 0.81; and soil temperatures of these two locations, were estimated for different decades from 2010-2090.

The effect of climate change is positive on soil temperature, coinciding with the rainy season; climate change will favor nitrogen mineralization in soils of the experimental sites, maintaining Q10 N mineralization between 2.0 and 8.0; although at higher temperatures lower value of mineralization as these will increase at the end of the century XXI.

We conclude that there is significant difference between the temperature of the clay soil to sandy soil at the same depth (30 cm), the latter being warmer. Climate change will increase soil temperatures under the influence of air temperature, but heating the ground will be lower than the air, promoting the speed of germination and crop development seedling and processes of mineralization O. M., to keep levels soil moisture present.

**Key Words:** Global warming, Soil Climate, Agriculture, Jalisco.

## INTRODUCCION

El cambio climático es un fenómeno que se refiere a la modificación del clima respecto del historial climático, a una escala global o regional, produciéndose a muy diversas escalas de tiempo, y especialmente sobre los parámetros climáticos temperatura, precipitación, nubosidad y evaporación (Chowanski *et al.*, 2009). En teoría, estos cambios son debidos tanto a causas naturales como humanas (Oreskes, 2004), aunque la Convención Marco de las Naciones Unidas refiere que el cambio climático actual es de origen antropogénico (ONU, 1992; IPCC, 2007).

Los efectos que el cambio climático tiene sobre las áreas agrícolas son muy diversos. Modifica los regímenes de precipitación y temperatura (Ojeda *et al.*, 2011), así como la estación de crecimiento (Zarazúa *et al.*, 2011) y la distribución de áreas potenciales para los cultivos (Ruiz *et al.*, 2011). En México, se han hecho estudios para evaluar el impacto del cambio climático sobre diversos aspectos de los sistemas de producción agrícola. De esta forma, se ha evaluado el impacto del cambio climático sobre la producción de cultivos importantes como el maíz y posibles medidas de adaptación en sistemas de producción temporaleros (Conde *et al.*, 2006); se ha estimado el efecto del cambio climático sobre la acumulación de frío y el potencial de producción de frutales caducifolios (Medina *et al.*, 2011; Ramírez *et al.*, 2011); se han simulado las condiciones de precipitación, evapotranspiración y temperatura de las áreas agrícolas de México (Ruiz *et al.*, 2011), así como las condiciones de calidad del agua en lagos importantes del país (De la Mora *et al.*, 2011). Todas o casi todas las modificaciones que el cambio climático tiene sobre el agroclima de los cultivos, tienen que ver de alguna u otra manera con la modificación del régimen hidrotérmico del suelo, el cual está muy ligado a la disponibilidad de humedad y temperatura para las plantas. Dentro de los avances que se han realizado para evaluar el efecto del cambio climático sobre las actividades agrícolas, pocos o casi ninguno tienen que ver con el efecto del cambio climático sobre la temperatura del suelo, variable que juega un papel

muy importante en la germinación y desarrollo de los cultivos (Hay y Wilson, 1982). La temperatura del suelo afecta la velocidad de crecimiento de la planta, dado que determina la velocidad con que ésta absorbe agua y nutrimentos. La temperatura del suelo está determinada por la cantidad de agua almacenada en las partículas del suelo (Jarrel *et al.*, 1999). De esta forma un suelo arcilloso es un suelo más húmedo y por tanto más frío que un suelo arenoso, el cual contiene un mayor número de espacios de aire y por tanto se calienta a mayor velocidad que el suelo arcilloso que contiene menos espacios de aire. La germinación y el crecimiento de la plántula son por tanto más lentos en un suelo arcilloso. La temperatura del suelo también afecta el rompimiento del material parental del suelo y que tan rápido actúan los microorganismos del suelo en la descomposición de la materia orgánica y en la respiración del suelo (Parr y Papendick, 1978; Panikov *et al.*, 2006).

Por otro lado, el almacenamiento de carbono en los suelos del mundo (incluyendo los humedales, el permafrost y la turba) es significativamente mayor al que se encuentra presente en la atmósfera (Davidson y Janssens, 2006). Sin embargo, el incremento de temperatura del suelo por el cambio climático, podría inducir una acelerada descomposición del carbono del suelo con el riesgo de su liberación hacia la atmósfera y el consecuente efecto positivo sobre el calentamiento global (Davidson y Janssens, 2006). No obstante, sobre esta posibilidad existe aún un nivel alto de incertidumbre y existen posiciones encontradas de los científicos con respecto a este tema. De cualquier forma, las aseveraciones anteriores enfatizan la importancia que la temperatura del suelo tiene sobre distintos procesos bioquímicos relevantes.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar la temperatura del suelo de dos suelos tipo de la región central del estado de Jalisco y su posible evolución por influencia del cambio climático del período 2040-2069.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio**

El área de estudio corresponde al valle de San Isidro Mazatepec en la región centro del estado de Jalisco, con dos suelos tipo: de textura arenosa y de textura arcillosa; los lotes de observación presentaron la siguiente localización geográfica y altitudinal: Lote 1; Rancho Cofradía, 651,318.83 E y 2'264,303.98 N con altitud media de 1,501 msnm; Lote 2: Rancho Los Agaves, 648,885.00 E y 2'271,404.00 N, altitud media de 1,540 msnm. El valle es predominantemente agrícola, la vegetación nativa es selva baja caducifolia y pastizales (Rzedowski, 1983); el clima es semiárido-semicálido, con clave climática (A)C(w1)w según el sistema de Köppen modificado por García (1973), con lluvias de verano; de acuerdo con Ruíz *et al* (2003) la precipitación media anual es de 845.4 mm y la temperatura media anual es de 20.4 °C.

### **Datos de temperatura y humedad del suelo**

Considerando los criterios de la Taxonomía de Suelos (USDA, 2006), se monitoreó la temperatura y humedad del suelo dentro de los límites de la sección de control de humedad del suelo (SCHS), siendo para suelos arcillosos del Rancho Cofradía de 10 y 30 cm de profundidad del suelo, y, para suelos arenosos del Rancho Los Agaves, 30 y 90 cm de profundidad de suelo. La humedad en la SCHS, se midió con bloques de yeso y humidómetro “Delmhorst KS-D1” (%) y para la temperatura (°C), se emplearon termómetros de suelo “ReoTemp” de 30 y 90 cm de longitud, con rango de temperatura de -10°C a 110°C. Se estableció un monitoreo semanal de humedad y temperatura del suelo (Noborio 2001; Jarauta, 2006) durante el periodo Mayo del 2009 a Marzo del 2011, incluyendo dos ciclos de lluvias. Para modelar la temperatura del suelo en función de la temperatura del aire promedio se utilizaron datos diarios y semanales de las estaciones meteorológicas de Presa Hurtado (14-113) y Tala (14-351), representativas del sitio

Rancho Cofradía y Rancho Los Agaves, respectivamente. Ambas estaciones meteorológicas corresponden a la Red de Monitoreo Meteorológico de la CONAGUA.

### **Métodos empleados**

Se calcularon los estadísticos básicos de las series de temperatura del suelo de los sitios de observación y se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar normalidad de los datos. También se realizó una prueba de comparación de medias y varianzas entre los datos de temperatura de profundidad de suelo común, esto es temperatura de suelo a 30 cm, correspondiente con el límite superior de la sección de control de humedad en suelos arenosos y con el límite inferior de la sección de control de humedad de suelos arcillosos. Esto con la finalidad de identificar diferencias térmicas entre suelos arenosos y arcillosos.

Con base en los datos de temperatura colectados en campo y de las estaciones meteorológicas, se generaron ecuaciones de regresión para estimar la temperatura del suelo en función de la temperatura del aire en las dos localidades de estudio.

Las ecuaciones de regresión fueron utilizadas para estimar los valores de temperatura de suelo para los años 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080 y 2090. Para ello se utilizaron valores de temperatura del aire correspondientes a la mediana de las estimaciones de diez modelos de circulación general (MCG), a saber: cccma\_cgcm3\_1, csiro\_mk3\_0, giss\_model\_e\_r, miroc3\_2\_hires, miub\_echo\_g, mpi\_echam5, mri\_cgcm2\_3\_2<sup>a</sup>, ncar\_ccsm3\_0, ukmo\_hadcm3, csiro\_mk3\_5 (Ruiz *et al.*, 2014).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Información climática**

El año 2009 fue un año seco por debajo de la normal (15% menos de precipitación anual), mientras que 2010 fue un año húmedo por arriba de la normal (34.6% más de precipitación

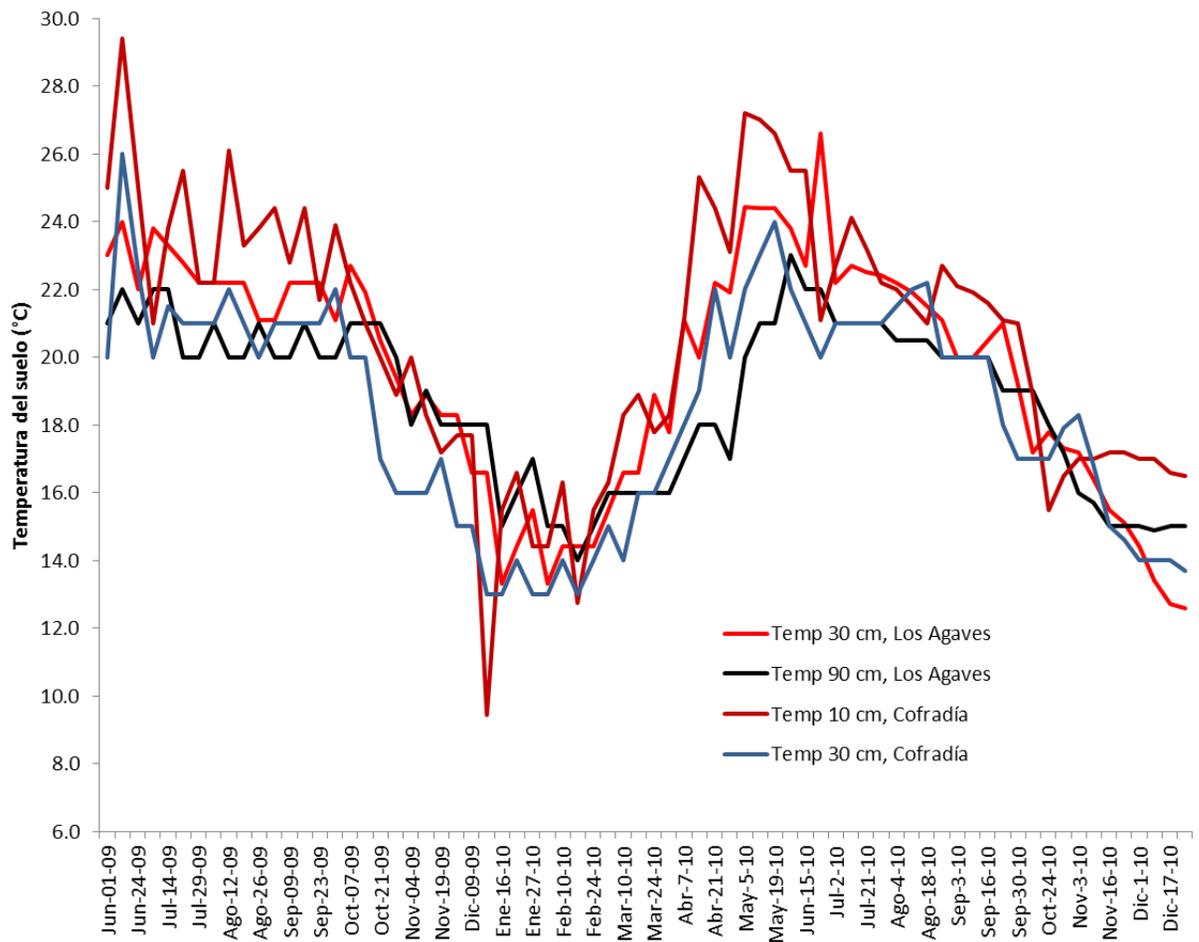
anual). Respecto de las temperaturas, el verano fue homogéneo en los dos años, mientras que el invierno fue más frío en 2010. En la Figuras 1 se pueden ver los valores de temperatura en la sección de control de humedad del suelo en ambos sitios de observación.

La aplicación de la prueba de Shapiro-Wilk reportó normalidad tanto para los datos de temperatura de suelo de Rancho La Cofradía como de Rancho Los Agaves considerando la temperatura medida a 30 cm de profundidad (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Estadísticos básicos de datos de temperatura de suelo a 30 cm en los lotes experimentales.**

Estadístico	Rancho La Cofradía	Rancho Los Agaves
Media	18.455	19.739
Varianza	6.9552	4.4347
Shapiro-Wilk	0.8899	0.8957
P (normalidad)	0.0048	0.0065
Normalidad	Normal	Normal
F	1.5683	P (misma varianza) 0.231
t	-2.7752	P (misma media) 0.007

Como puede observarse a simple vista, los valores de temperatura en suelo arenoso (Rancho Los Agaves) son más elevados que los registrados en suelo arcilloso (Rancho Cofradía), aunque en este último los valores de temperatura de suelos presentan una mayor varianza.

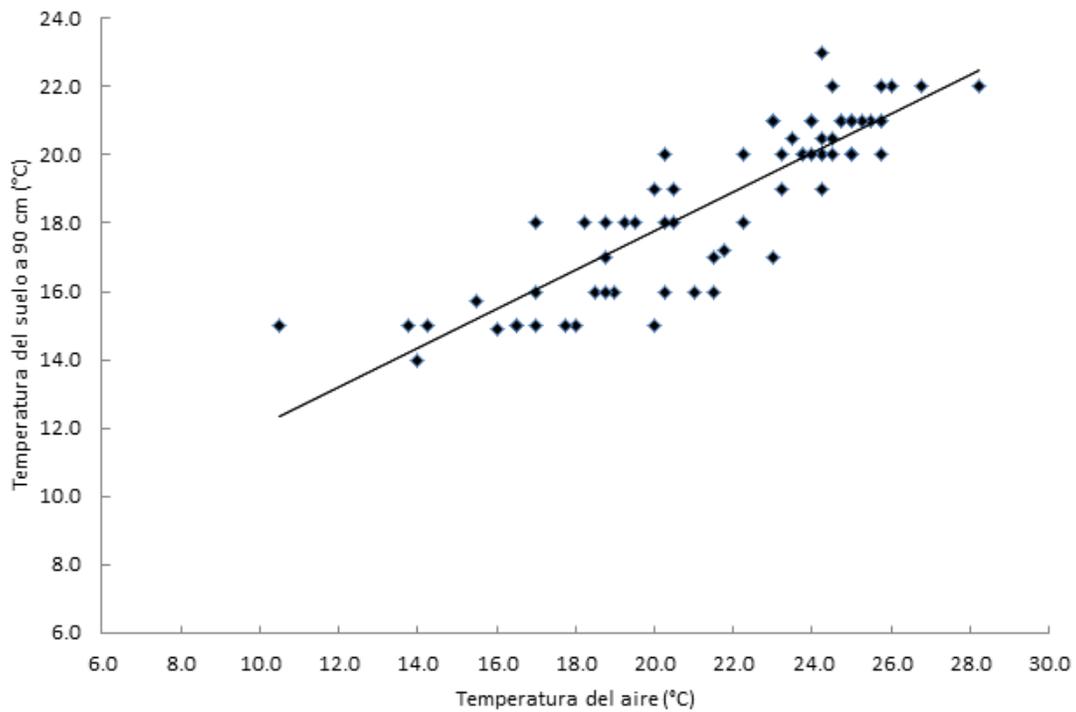
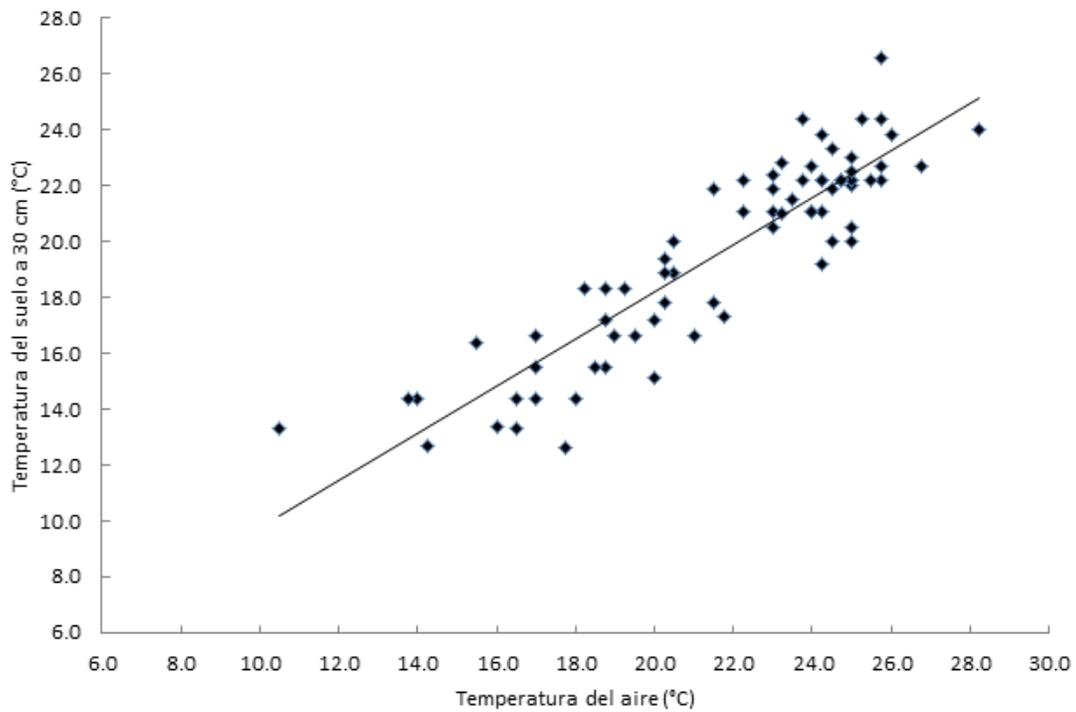


**Figura 1. Valores de temperatura del suelo en la sección de control de humedad (SCHS) de un suelo arenoso (Los Agaves) y uno arcilloso (Cofradía).**

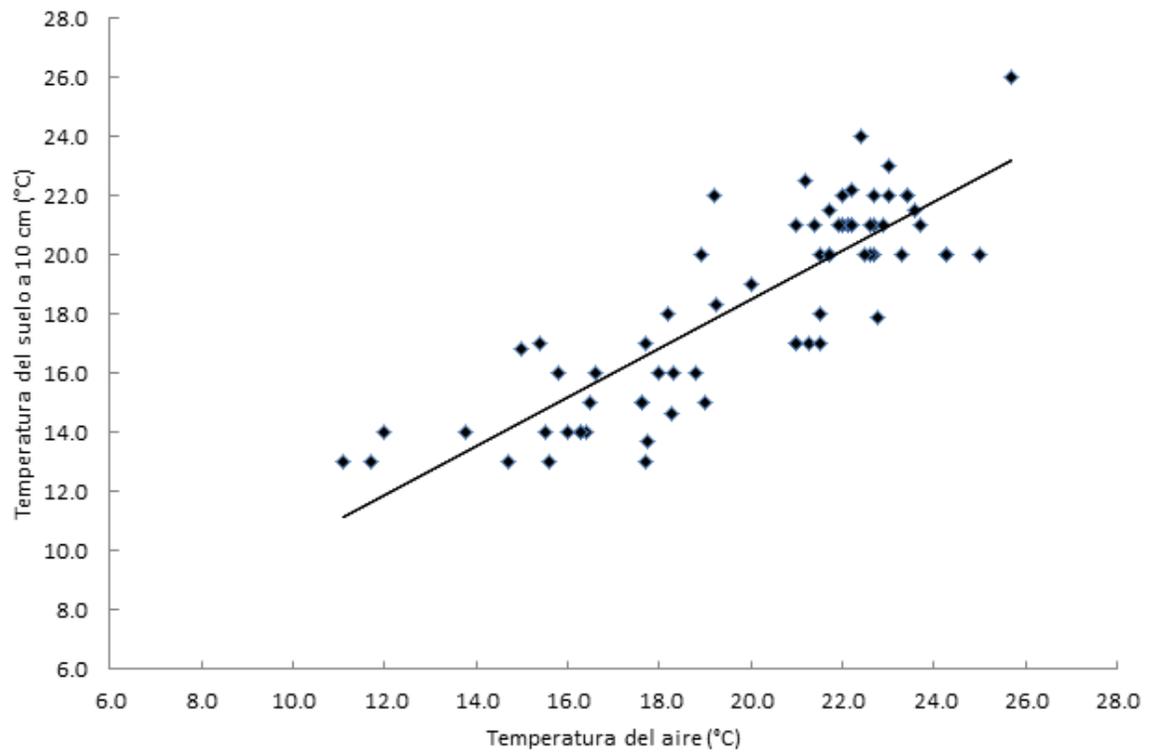
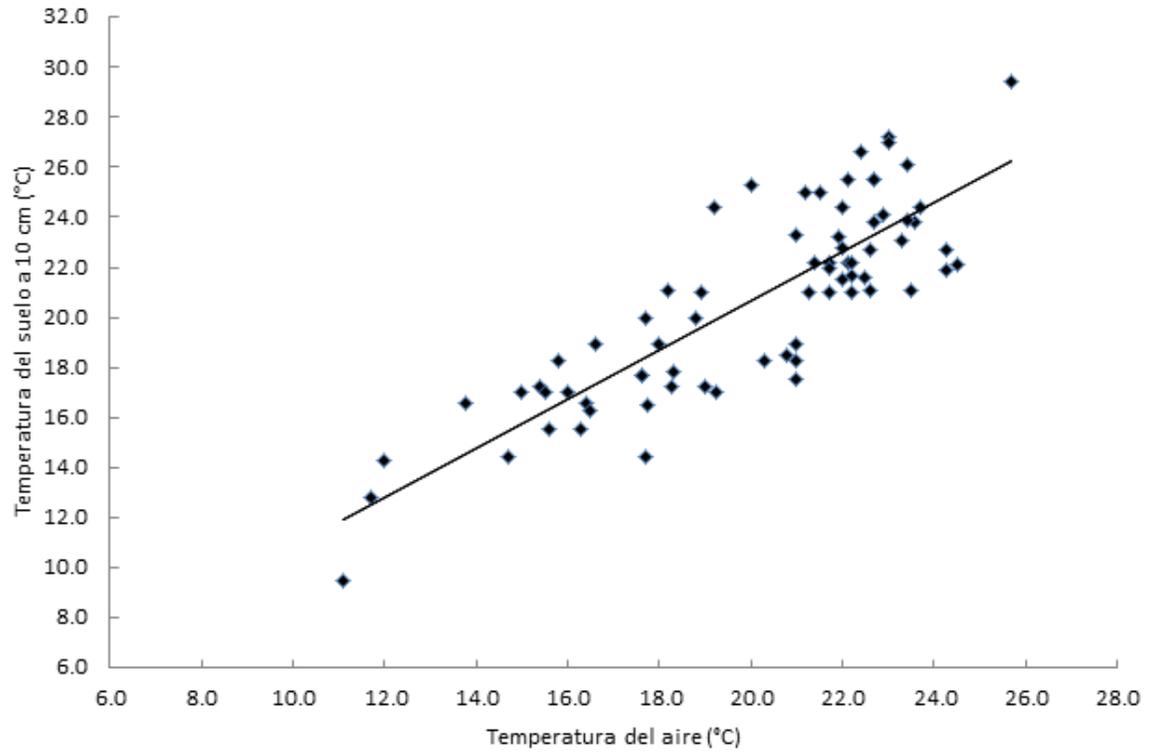
Atendiendo a los valores de temperatura del suelo en la sección de control de humedad (Figura 1) se puede observar que la serie de datos que presenta los mayores valores corresponde al límite superior del suelo arcilloso (Cofradía), esto es temperatura a 10 cm de profundidad de suelo, mientras que la serie de datos con los valores más bajos corresponde en ciertos periodos al límite inferior del suelo arenoso (Los Agaves), esto es a 90 cm de profundidad de suelo, y en otros periodos al límite inferior del suelo arcilloso (Cofradía) o sea a 30 cm de profundidad de suelo. En ambos sitios la temperatura del suelo es mayor a menor profundidad de suelo, lo cual corresponde con los patrones normales de variación de temperatura en función de la profundidad de suelo (Popiel et al., 2001). Al promediar los valores de temperatura del suelo (Figura 1) para cada serie de datos durante el periodo total de observación se tiene que en orden de mayor a menor el valor promedio de temperatura de suelo es: 20.6°C en suelo arcilloso a 10 cm, 19.6°C en suelo arenoso a 30 cm, 18.7°C en suelo arenoso a 90 cm y, 18.4°C en suelo arcilloso a 30 cm. De acuerdo con estos resultados, se puede concluir en términos generales que el suelo arcilloso de Cofradía es menos cálido que el suelo arenoso de Los Agaves.

En las Figuras 2 y 3 se describe gráficamente la relación que se observó entre temperatura media del aire y temperatura del suelo en los límites de la sección de control de los dos sitios de observación. Como puede verse, existe una correlación positiva entre estas dos variables en los cuatro casos. En el Cuadro 2 se presentan los modelos de regresión lineal obtenidos, así como su coeficiente de determinación y el número de observaciones utilizadas. Como puede notarse, existe una mayor correlación entre temperatura del aire y temperatura del suelo en los datos del suelo arenoso de Rancho Los Agaves y menor correlación en los datos del suelo arcilloso de Rancho Cofradía y, en términos generales hay menor correlación entre estas dos variables a mayor profundidad de suelo. Lo anterior

puede ser explicado por el mayor contenido de humedad en un suelo arcilloso que en el arenoso y, también mayor contenido de humedad a mayor profundidad de suelo (Oke, 1987). Este mayor contenido de humedad ocasiona que los cambios de temperatura sean más lentos, esto es una menor sensibilidad a los cambios bruscos de la temperatura del aire (Al-Kayssi et al., 1990).



**Figura 2. Relación entre temperatura media del aire y temperatura del suelo en los límites de la sección de control de humedad del suelo en un suelo arenoso de Rancho Los Agaves, Jalisco.**



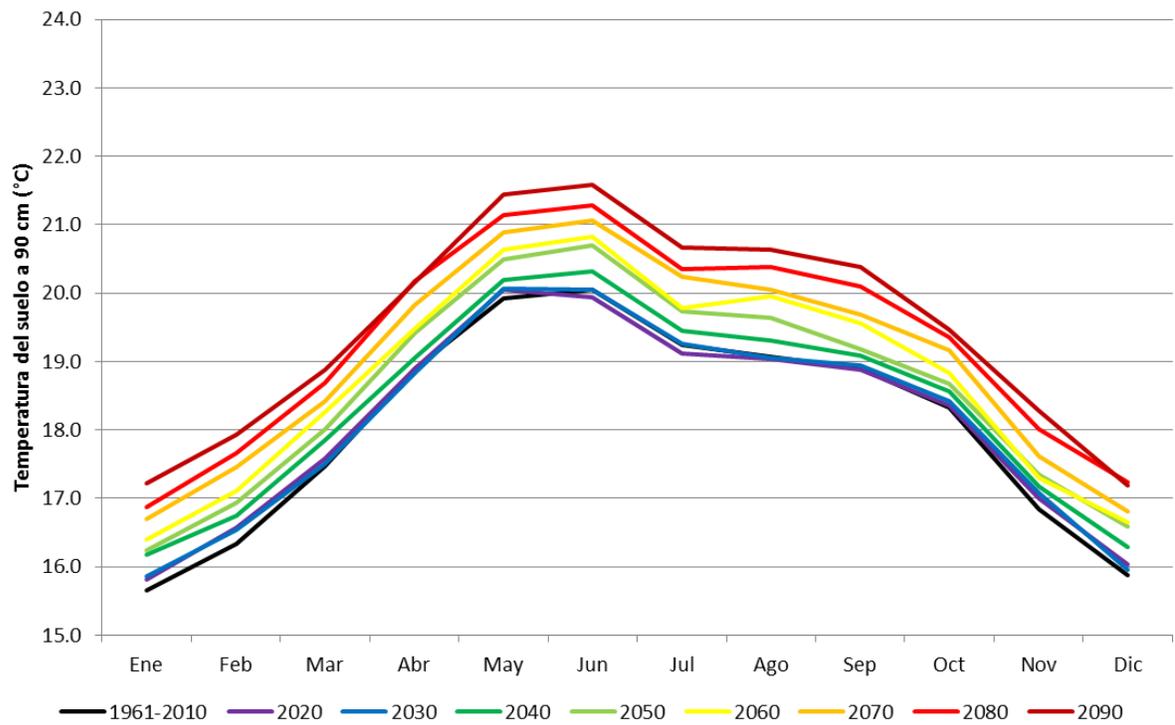
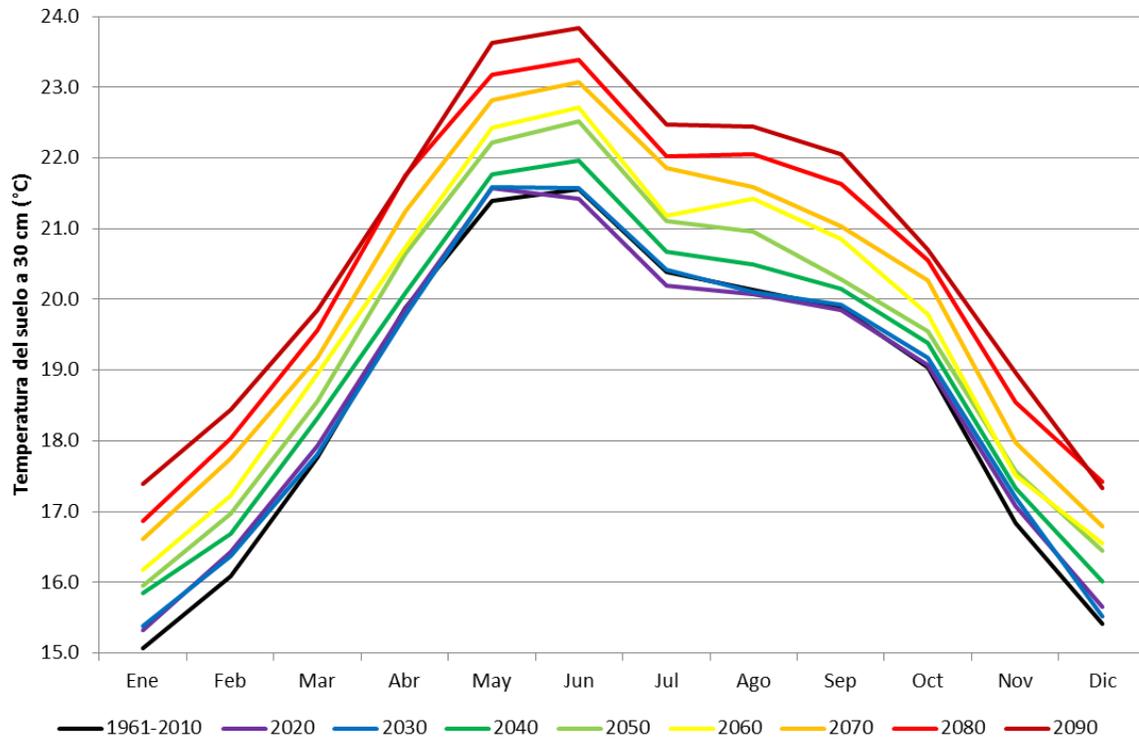
**Figura 3. Relación entre temperatura media del aire y temperatura del suelo en los límites de la sección de control de humedad del suelo en un suelo arcilloso de Rancho Cofradía, Jalisco.**

**Cuadro 2. Modelos de regresión lineal entre temperatura del aire y temperatura del suelo para profundidades de suelo correspondientes a los límites de la sección de control en dos suelos tipo.**

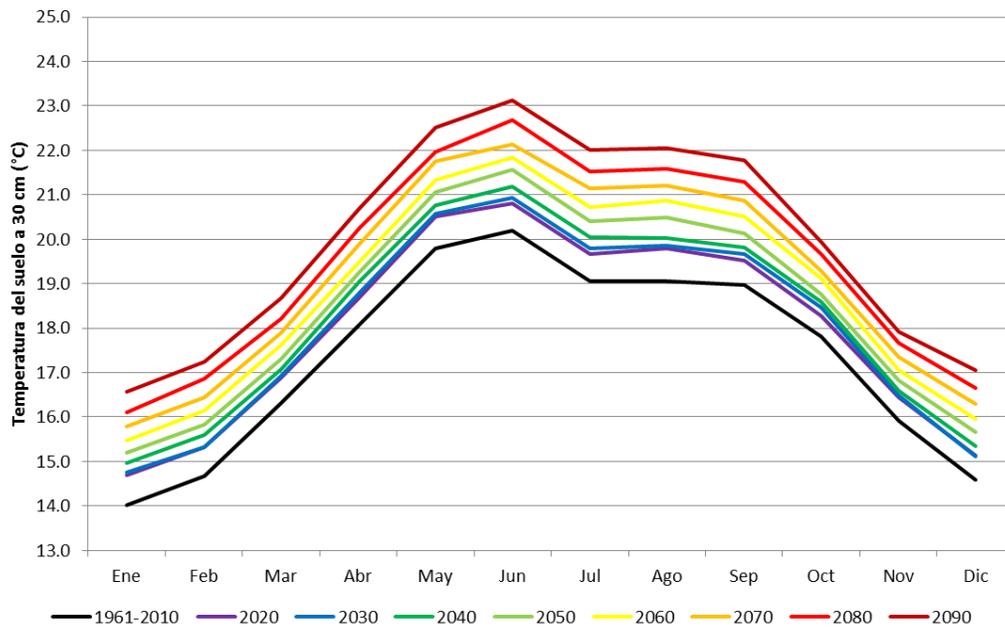
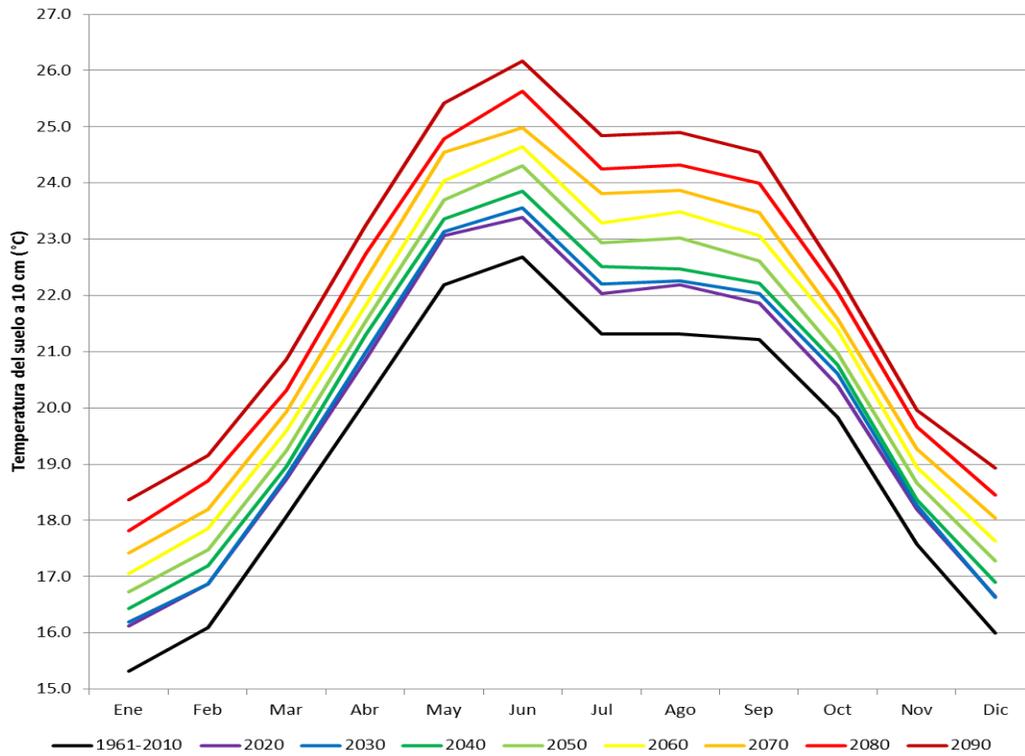
Suelo Tipo	Profundidad	Modelo	R2	Observaciones (n)
Arenoso	30 cm	$T_s = 1.3417 + 0.8425 T_a$	0.81	72
Arenoso	90 cm	$T_s = 6.3490 + 0.5705 T_a$	0.77	72
Arcilloso	10 cm	$T_s = 0.9586 + 0.9831 T_a$	0.71	72
Arcilloso	30 cm	$T_s = 1.9691 + 0.8251 T_a$	0.72	72

$T_s$  = Temperatura de suelo (°C);  $T_a$  = Temperatura media del aire

Como se mencionó en el capítulo de Materiales y Métodos, a partir de los modelos de regresión del Cuadro 2 se estimó para los años 2010, 2020, 2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080 y 2090 la temperatura del suelo en la sección de control de humedad de los suelos tipo estudiados. Las Figuras 4 y 5 muestran gráficamente los valores obtenidos de temperatura del suelo para los años mencionados en la sección de control de humedad de los dos suelos tipo estudiados. En la figura 4 se puede ver el caso del suelo arenoso del Rancho Los Agaves; como puede notarse, los diferenciales de temperatura del suelo entre el periodo de referencia 1961-2010 y los años futuro, son más amplios en los meses del verano (julio, agosto, septiembre) y en enero, que en el resto de los meses, señalando que los efectos del cambio climático por incremento de temperatura se dejarán sentir más en esta época del año. Se advierte diferencia en este aspecto, entre las gráficas correspondientes a las profundidades de 30 cm (Figura 4a) y 90 cm (Figura 4b), siendo más amplios los diferenciales de temperatura entre el periodo de referencia y los años futuros para el caso de una profundidad de 30 cm, lo cual señala que el incremento de temperatura por el cambio climático será más intenso a profundidades de suelo menores (Oke, 1987).



**Figura 4. Proyecciones de temperatura en la sección de control de humedad de un suelo arenoso: a 30 cm de profundidad (arriba) y a 90 cm de profundidad (abajo).**



**Figura 5. Proyecciones de temperatura en la sección de control de humedad de un suelo arcilloso (Rancho La Cofradía): a 10 cm de profundidad (arriba) y a 30 cm de profundidad (abajo).**

En el Cuadro 3 se pueden observar los valores de incremento de temperatura que tendría la sección de control de humedad de un suelo arenoso (Los Agaves) hacia el año 2050 y año 2090, tomando como referencia el periodo 1961-2010. Es notorio que la profundidad de 90 cm tenderá a amortiguar mejor los cambios de temperatura del aire que se esperan para años futuros. De esta forma, para mediados de siglo (2050) mientras que para la temperatura del aire se espera un incremento de 1.5 a 2°C en la zona de estudio (Ruiz et al., 2011), para el suelo de Los Agaves a 90 cm solamente se espera un incremento de 0.3°C (septiembre, octubre) a 0.7°C (junio, diciembre), y, para 2090 para la temperatura del aire se espera un incremento de 3 a 3.5°C, mientras que el incremento de temperatura del suelo a dicha profundidad será sólo de 1.1°C (octubre) a 1.6°C (agosto, enero y febrero). En la profundidad de 30 cm, los cambios de temperatura del suelo son más cercanos a los cambios en la temperatura del aire, teniendo un valor de 0.4°C (septiembre) a 1.0°C (junio, diciembre) en el año 2050, y de 1.7°C (octubre) a 2.3°C (junio, agosto, enero, febrero) para el año 2090 (Cuadro 3).

Al analizar los efectos del incremento de temperatura del suelo tanto en Los Agaves como en La Cofradía, se puede comentar que con relación a la germinación y tomando en cuenta el cultivo más representativo de la región de estudio, esto es el maíz, se tiene que sus temperaturas umbrales para germinación son las siguientes: mínima 10°C, máxima 40.5°C (Kemble y Musgrove, 2006), con una temperatura ideal para germinación y crecimiento de plántula en zona de raíces de 25 a 35°C (FAO, 2002). Del monitoreo de temperatura del suelo llevado a cabo en este estudio se deriva que la única profundidad relacionada con germinación y desarrollo de plántula es la de 10 cm en Rancho La Cofradía (suelo arcilloso). Al revisar la gráfica de esta localidad en esa profundidad de suelo (Figura 5a) se

puede ver que la temperatura del suelo todo el año está por arriba de 15°C, esto es que la germinación de la semilla de maíz sería posible en cualquier época del año, aunque claro a diferente tasa de desarrollo, siendo ésta de bajo valor en los meses de menor temperatura (noviembre a febrero). Actualmente en ninguno de los meses se tiene la temperatura del suelo entre 25 y 35°C; en primavera-verano lo más que se acerca es en junio con temperaturas entre 22 y 23°C; con el cambio climático poco a poco la temperatura del suelo a 10 cm se irá aproximando al rango ideal para la germinación de maíz (25-35°C) siendo en el año 2070 cuando se alcanza una temperatura de 25°C en junio, mes que coincide con el inicio del periodo de lluvias y de la estación de crecimiento en dicha región (Villalpando y García, 1993).

**Cuadro 3. Cambio de temperatura del suelo entre al año 2050 y al año 2090 con relación a 1961-2010, para los doce meses del año en la sección de control de humedad de un suelo arenoso y un suelo arcilloso.**

Mes	Incremento de temperatura del suelo (°C)							
	Suelo arenoso (Los Agaves)				Suelo arcilloso (La Cofradía)			
	Año 2050		Año 2090		Año 2050		Año 2090	
	30 cm	90 cm	30 cm	90 cm	10 cm	30 cm	10 cm	30 cm
Ene	0.9	0.6	2.3	1.6	1.4	1.2	3.0	2.6
Feb	0.9	0.6	2.3	1.6	1.4	1.2	3.1	2.6
Mar	0.8	0.5	2.1	1.4	1.2	1.0	2.8	2.3
Abr	0.8	0.5	1.9	1.3	1.4	1.2	3.1	2.6
May	0.8	0.6	2.2	1.5	1.5	1.3	3.2	2.7
Jun	1.0	0.7	2.3	1.5	1.6	1.4	3.5	2.9
Jul	0.7	0.5	2.1	1.4	1.6	1.4	3.5	3.0
Ago	0.8	0.6	2.3	1.6	1.7	1.4	3.6	3.0
Sep	0.4	0.3	2.2	1.5	1.4	1.2	3.3	2.8
Oct	0.5	0.3	1.7	1.1	1.1	1.0	2.5	2.1
Nov	0.7	0.5	2.1	1.4	1.1	0.9	2.4	2.0
Dic	1.0	0.7	1.9	1.3	1.3	1.1	2.9	2.5

Considerando que la mineralización de la materia orgánica se inicia a 10°C y alcanza su máximo entre 30 y 40°C (Fassbender, 1982), a través de las Figuras 4 y 5 se puede apreciar que todo el año la sección de control de humedad mantiene condiciones de temperatura que propician la mineralización de la materia orgánica. Con la presencia del cambio climático y el incremento de temperaturas del aire y suelo se tiene que los niveles térmicos tanto en el límite inferior como superior de la sección de control se aproximarán cada vez más al óptimo de 30-40°C durante el transcurso del presente siglo. De acuerdo con las gráficas de las Figuras 4 y 5, es notorio como las mayores tasas de mineralización se producen entre los meses de abril y septiembre, esto es, la temporada más calurosa. También es visible que las mayores tasas de mineralización se presentan y se presentarán (con el cambio climático) en la profundidad de 10 cm en suelo arcilloso, seguido por la profundidad de 30 cm en suelo arenoso, 30 cm en suelo arcilloso y finalmente por 90 cm en suelo arenoso, aunque debe tomarse en cuenta que el contenido de materia orgánica disminuye con la profundidad (Argüello, 1991) y a 90 cm la presencia de materia orgánica es seguramente muy escasa. Por otro lado, como puede verse, a una misma profundidad (30 cm) se supondría una mayor tasa de mineralización en suelo arenoso que en suelo arcilloso, debido principalmente a su mayor temperatura, aunque es de considerarse que la mineralización de la materia orgánica también depende del contenido de humedad en el suelo (Singh y Gupta, 1977).

Dado que las temperaturas excesivas del suelo (> 40°C) provocan una aceleración de la degradación y lixiviación de los restos vegetales en el suelo (Jenny, 1949), propiciando problemas de fertilidad en suelos agrícolas, se puede decir que ni en Los Agaves ni en La Cofradía se tiene este problema en la actualidad, ni se tendrá con el incremento de

temperatura del cambio climático, puesto que los niveles térmicos que se alcanzarán aún a 10 y 30 cm de profundidad son muy inferiores, ya que los máximos que se predicen en verano están alrededor de 21-26°C (Figuras 4 y 5).

Por otro lado, en la mayoría de los suelos, el contenido de agua y la temperatura son los factores ambientales más importantes que controlan la mineralización neta de N a partir de la MO (Rodrigo et al., 1997). La temperatura óptima para la nitrificación varía dependiendo de la localización geográfica (Dalias et al., 2002) y la profundidad del suelo (Grundmann et al., 1995). Esta variación es aparentemente causada por la adaptación de las bacterias al ambiente. Consecuentemente, suelos de áreas frías tienen una temperatura óptima menor para la nitrificación que suelos de áreas más cálidas. Similarmente, suelos con horizontes profundos, los cuales usualmente presentan temperaturas más bajas, poseen temperaturas óptimas menores para el proceso de la nitrificación que los horizontes superficiales (Grundmann et al, 1995). Adicionalmente vale la pena comentar que en función de la variación ambiental las cepas de bacterias pueden variar. Kirschbaum (1994) analizó información a partir de numerosos estudios que investigaron el efecto de la temperatura sobre la mineralización del N, y concluyeron que el valor  $Q_{10}$  es aproximadamente de 8.0, cerca de 0°C y decrece a valores menores a 2, a medida que la temperatura alcanza los 35°C. Para las áreas estudiadas se puede ver (Figuras 4 y 5) que las temperaturas mensuales promedio del suelo se mantienen entre 15 y 25°C aproximadamente, aún bajo la influencia del cambio climático, por lo que se puede concluir que tanto el suelo de Los Agaves como el suelo de La Cofradía poseen y mantendrán un  $Q_{10}$  en mineralización de nitrógeno entre 2.0 y 8.0; sin embargo, es de esperarse que bajo el incremento de temperatura paulatino del S. XXI, este valor de  $Q_{10}$  vaya disminuyendo también paulatinamente.

## **CONCLUSIONES**

La temperatura de un suelo arcilloso es significativamente diferente a la de un suelo arenoso. A una misma profundidad (30 cm) un suelo arenoso es más cálido que un suelo arcilloso.

La temperatura del suelo disminuye en función de la profundidad del suelo.

El cambio climático del S. XXI incrementará la temperatura del suelo a través de un incremento de la temperatura del aire. Sin embargo las tasas de calentamiento en el suelo serán inferiores a las tasas de calentamiento en el aire.

El incremento de temperatura del suelo por el cambio climático, será mayor a menores profundidades de suelo que a mayores profundidades.

Durante el transcurso del S. XXI, para el sitio Cofradía se espera un incremento de temperatura del suelo ligeramente superior que en el sitio Los Agaves.

El incremento de temperatura del suelo por efecto del cambio climático, podría promover un incremento en la velocidad de germinación y desarrollo de la plántula de un cultivo. El incremento de temperatura también promoverá el monto de mineralización de materia orgánica en el suelo de los sitios estudiados, siempre y cuando el cambio climático no afecte significativamente los niveles de humedad del suelo. El calentamiento atmosférico y del suelo también promoverá un valor de  $Q_{10}$  de mineralización de nitrógeno cada vez menor.

## **LITERATURA CONSULTADA**

Al-Kayssi, A.W., A.A. Al-Karaghoul, A.M. Hasson, and S.A. Beker. 1990. Influence of soil moisture and heat storage under greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 45:241-252.

- Conde, C., R. Ferrer, and S. Orozco. 2006. Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study. *Atmósfera*, 19(3): 181-194.
- Chowanski, K., Kittel, T., Ashton, I. W., Williams, M. 2009. Climate change and soil temperature response across a montane to alpine gradient, Niwot Ridge LTER. Poster Number: 282. In: "Integrating Science and Society in a World of Constant Change, Sept. 14-16th 2009, Estes Park CO". ASM. USA
- Dalias, P., J.M. Anderson, P. Bottner and M.M. Coueaux. 2002. Temperature responses of net N mineralization and nitrification in conifer forest soils incubated under standard laboratory conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 34:691-701.
- Davidson, E.A. and I.A. Janssens. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440: 165-173.
- De la Mora O., H.E. Flores L., A. Durán C., y J.A. Ruiz C. 2011. Cambio climático y el impacto en la concentración de oxígeno disuelto en el Lago de Chapala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):381-394.
- FAO. 2002. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Fertilidad de Suelos. Roma, Italia.
- Fassbender, H.W. 1982. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. 1ª ed. 3ª reimpresión. IICA. San José, Costa Rica. 422 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México.

- Grundmann, G.L., P. Renault, L. Rosso and R. Bardin. 1995. Differential effects of soil water content and temperature on nitrification and aeration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1342-1349.
- Hay, R. K. M. y G. T. Wilson. 1982. Leaf appearance and extension in field-grown Winter wheat plants: the importance of soil temperature during vegetative growth. *The Journal of Agricultural Science*, 99(2):403-410.
- IPCC. 2007. Special report on emissions scenarios. Ch 3.- Scenario driving forces. UNEP. USA.
- Jarauta, B. E. 2006. Modelos matemáticos del régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación del régimen de humedad de los suelos del área meridional de Lleida. Universidad Politécnica de Catalunya. España.
- Jarrell, W.M., D.E. Armstrong, D.F. Grigal, E.F. Kelly, H.C. Monger and D.A. Wedin. 1999. Soil water and temperature status. In: G.P. Robertson, C.S. Bledsoe, P. Sollins (eds.), *Standard soil methods for long-term ecological research*. Oxford University Press. New York, USA. pp. 55-73.
- Jennv, H., S.P. Gessel, y F.T. Gingham. 1949. Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science*, 68:419-432.
- Kirschbaum, M.U. 1994. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem.* 27:753-760.
- Medina G. G., J. A. Ruiz C., M. R. Ramírez L. y G. Díaz P. 2011. Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):195-207.

- Noborio K. 2001. Measurement of soil water content and electrical conductivity by time domain reflectometry: A review. *Computers and Electronics in Agriculture* 31:213-237 pp.
- Oke, T.R. 1987. *Boundary layer climates*. 2nd Ed. Routedledge. New york, USA. 435 p.
- ONU. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Pág. 4. Párrafo segundo. USA.
- Oreskes, N. 2004. Beyond the ivory tower: The scientific consensus on climate change. *Science*, 3(306):5702.
- Panikov, N.S., P.W. Flanagan, W.C. Oechel, M.A. Mastepanov and T.R. Christensen. 2006. Microbial activity in soils frozen to below  $-39^{\circ}\text{C}$ . *Soil Biol. Biochem.*, 38: 785–794.
- Parr, J.F. and R.I. Papendick. 1978. Factors affecting the decomposition of crop residues by microorganisms. In: W.R. Oschwald (ed.); *Crop residue management system*. ASA Special Publicaton 31, Soil Science Society of America. USA. pp. 101-129.
- Popiel, C., J. Wojtkowiak, and B. Biernacka. 2001. Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 25:301-309.
- Ramírez L. M.R., J.A. Ruiz C., G. Medina G., J.L. Jacobo C., R.A. Parra Q., M.R. Ávila M., y J.P. Amado A. 2011. Perspectivas del sistema de producción de manzano en Chihuahua, ante el cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):223-237.
- Rodrigo A., S. Recous, C. Neel and B. Mary. 1997. Modelling temperature and moisture effects on C-N transformations in soils: comparison of nine models. *Ecol. Model.*, 102: 325.339.

- Ruiz C. J. A., I. J. González A., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá, G., S. Espinoza V. y H. E. Flores L. 2003. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1961-2000). Libro Técnico No 1. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro de Jalisco, Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco. México.
- Ruiz C. J.A., G. Medina G., J.L. Ramírez D., H. E. Flores L., G. Ramírez O., J.D. Manríquez O., P. Zarazúa V., D. R. González E., G. Díaz P. y C. de la Mora O. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(2):309-323.
- Ruiz C. J.A. 2014. Cambio climático y su impacto en el potencial productivo agrícola, forrajero y forestal en México. Informe final (Documento Inédito). INIFAP-CIRPAC- Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco. 90 p.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Ed. LIMUSA. México.
- USDA. 2006. *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 10ª Ed. Trad. Carlos A. Ortiz S. y M. del C. Gutiérrez C. Montecillos. México.
- Villalpando I. J. F., E. García. 1993. *Agroclimatología del estado de Jalisco*. Universidad de Guadalajara-CUCBA. Guadalajara, Jalisco, México. 40 p. más anexo cartográfico.
- Zarazúa V. P., J. A. Ruiz C., D. R. González E., H. E. Flores L., y J. Ron P. 2011. Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* ISSN 2007-0934. Vol. Esp. No 2. 295-308 p. INIFAP. México.

**8. ESTIMACIÓN DE REGÍMENES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO MEDIANTE MODELO DE SIMULACIÓN (NEWHALL, 2010), EN TRES GRUPOS TEXTURALES DE SUELOS DEL ESTADO DE JALISCO, MÉXICO**

(En revisión para su impresión por revista indexada)

## **“ESTIMACIÓN DE REGÍMENES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DEL SUELO MEDIANTE MODELO DE SIMULACIÓN (NEWHALL, 2010), EN TRES GRUPOS TEXTURALES DE SUELOS DEL ESTADO DE JALISCO, MÉXICO”.**

### **RESUMEN**

Este documento comprende la aplicación del modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010), con datos mensuales de lluvia y temperatura de 150 estaciones meteorológicas distribuida en el estado de Jalisco. El modelo de simulación es calibrado en los niveles de humedad de la sección de control de la humedad del suelo (USDA, 2006), con la finalidad de que estime las condiciones reales del contenido de humedad de suelos con texturas arcillosas, francas y arenosas; la calibración del modelo se establece en un trabajo anterior, tomando como base suelos representativos de los tipos señalados, de la región Centro del estado de Jalisco.

La metodología incluye el procesamiento de datos meteorológicos de precipitación y temperatura, en la generación de archivos en los formatos CSV, FLX y EXCELL; el primero de ellos lo requiere el programa Newhall (V.1.6.2010), para el cálculo del balance hidrotérmico del suelo para los datos de cada estación meteorológica empleada; el programa genera un archivo en flx, ajustándose la información estimada por el modelo de simulación, para obtener un cuadro de salida en archivo excell. El objetivo principal del trabajo, una vez procesada la base de datos mediante los archivos señalados, es la obtención de un cuadro de salida con datos georreferenciados para cada una de las 150 estaciones meteorológicas empleadas, en los que se señalan el régimen de humedad y temperatura del suelo así como la subdivisión tentativa propuesta por Newhall (1972), en función del número de días con humedad del suelo a través del año.

Una vez cumplido este objetivo, se procedió a la generación de cartografía temática con los rubros de: Carta de unidades de suelos del estado de Jalisco con base en el sistema FAO/UNESCO (1973) que maneja el INEGI como cartografía oficial en la república Mexicana; carta de grupos texturales de suelos en Jalisco y; carta de regímenes de humedad y temperatura de suelos con textura arcillosa, franca y arenosa del estado de Jalisco. La cartografía del Estado se edita a una escala de 1:850,000, con base en un modelo digital de

elevación tipo LIDAR (INEGI, 2013) y se emplearon sistemas de información geográfica como Qgis 2.0.1 Dufour.

## **ABSTRACT**

The document presented, comprising applying the Newhall Simulation Model (V.1.6.2010), with monthly rainfall and temperature data from 150 weather stations distributed within the state of Jalisco. The simulation model is calibrated to the humidity level of the control section of the soil moisture (USDA, 2006), in order that the model considers the actual conditions of the moisture content of soil with clay, loamy and sandy textures; model calibration is established in a previous work, on the basis of representative soils type reported, of the central region of Jalisco.

The methodology includes processing of meteorological data of precipitation and temperature, in the generation of files in CSV, FLX and EXCELL formats, the first one required by the Newhall program (V.1.6.2010) to start the calculation hydrothermal soil balance for each group of data for each weather station used, the program generates a response file Flx, which is adjusted to obtain a table of the estimated data output of the simulation model in Excell file. The main objective of the work, once processed the database using the marked files, is getting a table out with georeferenced data for each of the 150 weather stations used, in which the temperature and moisture soil regimes are identified and attempting subdivision proposed by Newhall (1972), based on the number of days with soil moisture throughout the year

Once this goal was met, we proceeded to generate thematic maps with the areas of: Map of soil units Jalisco state based on the FAO / UNESCO system (1973) that handles the INEGI as official maps in the Mexican Republic; Map of textural soil groups in Jalisco; Map moisture and temperature regimes of clay, loamy and sandy soils, of Jalisco state. State mapping is published at a scale of 1:850,000, based on a digital elevation model LIDAR (INEGI, 2013) and geographic information systems as Qgis 2.0.1Dufour were used.

## INTRODUCCION

La importancia del estudio radica en la estimación, clasificación y distribución de los regímenes de humedad y temperatura de los suelos con texturas arcillosa, franca y arenosa del estado de Jalisco (USDA, 2006). La biodiversidad del estado de Jalisco comprende ecosistemas de bosque templado, de bosque tropical, de sabana, de desierto, de manglar y costero (Odum, 1983); implicando el origen y desarrollo de una diversidad en suelos, que conforme a la nomenclatura de FAO/UNESCO/INEGI (1973), se encuentran en Jalisco 16 de las 27 unidades de suelos del mundo que cita el sistema. Las características fisiográficas (Tamayo, 1981) del Estado permiten desarrollar la agricultura y la ganadería en valles y planicies, con una gran variedad de cultivos bajo condiciones de temporal y pastizales inducidos principalmente y en menor proporción cultivos bajo riego y agricultura protegida. En Jalisco se cuenta con una superficie aproximada de 2'005,275.00 ha (SITEL, 2011), de las cuales se reporta una superficie de 1'592,094.00 hectáreas sembradas (SAGARPA, 2011), siendo 1'007,069.00 ha (63.25 %) de temporal y 241,389.00 ha bajo riego (15.16 %), que significan el 78.4 % de agricultura mecanizada; por lo que la agricultura en Jalisco depende vitalmente de las condiciones de humedad y temperatura disponibles en el suelo a través del año; de acuerdo con las condiciones climáticas en el Estado, las lluvias presentan un patrón estacional de verano, con precipitaciones en el periodo de junio a noviembre y un estiaje de seis a siete meses en promedio (Villalpando y García, 1993). Por las condiciones climáticas imperantes, cobra gran importancia la textura de los suelos, ya que de éstas depende principalmente la condición de reserva de humedad en el suelo.

Una vez calibrado el modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010), ajustando la capacidad de almacenamiento de la humedad en el suelo, según el tipo de textura de éste, se procedió en forma sistemática al cálculo del régimen hidrotérmico de cada tipo de suelo, con datos de estaciones meteorológicas empleadas. Como resultado de esos cálculos se obtuvieron 150 cuadros con datos de localización de la estación, clima, balance hídrico diario para todo el año, y la clasificación de regímenes térmico e hídrico a nivel de subdivisión, conforme a los regímenes hidrotérmicos propuestos por USDA (2006). Finalmente se genera cartografía del estado de Jalisco, a escala de impresión 1:850,000 (Ortiz *et al.*, 1978), con los temas de Unidades de Suelos; Grupos texturales; y Regímenes de humedad y temperatura de suelos.

## MATERIALES Y METODOS

### Materiales

El área de estudio corresponde al estado de Jalisco en México y cuenta con una superficie de 80,386 km<sup>2</sup> (8'038,600.00 ha), cuya localización se georreferencia en el sistema de coordenadas UTM, siendo el cuadrante:

NE.- 392,852.49 m E y 2525,626.49 m N; SE.- 392,852.49 m E y 2085,044.36 m N

SW.- 895,297.24 m E y 2085,044.36 m N; NW.- 895,297.24 m E y 2525,626.49 m N

La altura media del Estado es de 1,700 msnm, presentando un rango de 0 a 4,200 msnm; desde el nivel del mar hasta la cumbre del Nevado de Colima (INEGI, 2013).

Fisiográficamente Jalisco se encuentra al Occidente de la república Mexicana, colindando con el Océano Pacífico y donde confluyen tres grandes Provincias, siendo la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur, separadas por el Eje Transverso Neovolcánico y una pequeña porción del altiplano mexicano al Noreste del Estado (Barrera y Zaragoza, 1999). Jalisco es un estado eminentemente agrícola y presenta una diversidad de comunidades vegetales, siendo predominantes la selva baja caducifolia y pastizales, enseguida bosque de encino y bosque de pino, entre otros. Debido al rango de altura señalado, presenta una diversidad en climas y de acuerdo con el INEGI (García, 1973), se muestra el siguiente cuadro de grupos climáticos:

**Cuadro 1. Grupos climáticos y Regiones del Estado de Jalisco.**

Grupo climático	Región	Superficie (ha)	Superficie (%)
Semicálido-Subhúmedo	Centro y Norte	5'015,514.61	62.39
Cálido-Subhúmedo	Costa, Cañón R. Santiago	1'839,186.18	22.88
Semisecos-Cálidos, Muy Cálidos	Costa, Cañón R. Bolaños, Tolimán, Zacoalco-Sayula	727,548.83	9.05
Templados Subhúmedos	Sn Juan de los Lagos, Sn Miguel el Alto-Sn Julián	9,660.30	0.12
Semiseco-Templado	Altos Norte (Ojuelos)	357,690.74	4.45

## **Datos de estaciones meteorológicas locales**

Para el desarrollo de este trabajo se emplearon 150 estaciones meteorológicas, con datos de precipitación media mensual y anual, así como temperatura media mensual y anual; distribuidas al interior del Estado, las estaciones empleadas, están georreferenciadas en sistema de coordenadas geográficas y fueron obtenidas del documento Estadísticas Climatológicas Básicas para el Estado de Jalisco (Periodo 1981-2010) (Ariel et al, 2012).

## **Métodos**

La metodología empleada abarca al menos cinco fases en orden lógico, que se definen a continuación:

- A) Obtención de la base de datos meteorológicos
- B) Procesamiento de datos de precipitación y temperatura CSV
- C) Aplicación del modelo de simulación FLX
- D) Obtención de cuadros de regímenes hidrotérmicos
- E) Obtención de cartografía temática

### **A). Obtención de la base de datos meteorológicos**

Este documento requiere de la obtención de datos de precipitación y temperatura, registrados por estaciones meteorológicas que cubren el territorio del estado de Jalisco; la información se obtuvo Estadísticas Climatológicas Básicas para el Estado de Jalisco, los datos corresponden a un periodo comprendido del año 1981 al 2010, ya que en trabajo similar se habían empleado datos de estaciones del periodo 1967-1986 (Topete-Angel, 2005).

### **B). Procesamiento de datos de precipitación y temperatura**

Los datos base de precipitación y temperatura se editaron en archivos CSV (del inglés comma-separated values) son un tipo de documento en formato abierto y sencillo para representar datos en forma de cuadro, en los que las columnas se separan por comas (o punto y coma en donde el punto es el separador decimal y las filas por saltos de línea. Los campos que contengan una coma, un salto de línea o una comilla doble deben ser encerrados entre comillas dobles. El formato CSV es muy sencillo y no indica un juego de





Estación	ACATLAN DE JUAREZ											Latitud	20	25	N									
	Mexico											Longitud	103	25	W									
Período	1981-2010											Altitud	1370											
Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Anual											
Precipitación mensual (mm)	20	8.9	2.1	5	19.3	166	191	158	140	43.9	10.7	8.4	773.5											
Temperatura del aire mensual (C)	16.2	17.5	19.2	21.3	23.4	23.9	22.6	22.4	22.3	21.4	18.9	16.8	245.9											
Evapotranspiración mensual (Thornthwaite)	42.7	48	67.6	87	116	119	108	103	93.6	83.7	59	45.8	972.8											
SOIL CLIMATIC REGIME ACCORDING TO NEWHALL COMPUTATION																								
Soil - Air Offset	2.5	C greater than air temperature										Amplitude	0.66											
Calendario de Humedad																								
	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	
ene	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
feb	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
mar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
abr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
may	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
jun	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
jul	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ago	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
sep	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
oct	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
nov	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
dic	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1=Dry, 2=Moist/Dry, 3=Moist																								
Water holding Capacity	80																							
Temperature regime	Isohyperthermic																							
Moisture regime	Ustic																							
Subdivisions	Tropustic Aridic																							
Number of cumulative days that the moisture control section						Highest number of consecutive days that the MCS is																		
During one year is			When soil temp is above 5°C			Moist in some parts		Dry after summer solstics		Moist after winter solstics														
DRY	M/D	MOIST	DRY	M/D	MOIST	YEAR	T>8																	
185	32	143	185	32	143	175	175	0		0														

**Figura 2. Salida de datos para presentación de resultados del cálculo Newhall.**

#### **D). Obtención de cuadros de regímenes hidrotérmicos**

Una vez procesada la información de la base de datos generada, se procedió a la conformación de los 150 cuadros, que contienen resultados de cada una de las estaciones meteorológicas referidas, pero debido al volumen de éstos, se procedió a conformar los cuadros resumen identificados como: Cuadro 3 de estaciones meteorológicas por orden alfabético; Cuadro 4 de Regímenes de humedad y temperatura de los suelos de estado de Jalisco; Cuadro 5 del Número de días acumulados y consecutivos en que la SCHS se encuentra con humedad o seca y; Cuadro 6 de Humedad almacenada (mm) y temperatura (°C) en la sección de control en tres texturas de suelos

#### **E). Obtención de cartografía temática**

El procesamiento de datos vectoriales y posteriormente la edición y elaboración de los mapas de unidades de suelos, mapa de texturas de suelos y uso agrícola, y el mapa hidrotérmico del suelo, se hizo mediante la utilización de sistemas de información geográfica, específicamente se utilizó la versión actualizada de Quantum “QGIS 2.0.1-Dufour”; Software libre y de código abierto distribuido bajo la Licencia Pública General GNU <http://www.gnu.org/licenses> y adquirido de manera gratuita en la página web oficial de Quantum Gis <http://qgis.org/es/site/>.

Los datos vectoriales utilizados escala 1:1'000,000 y el modelo de elevación de la Republica Mexicana fueron obtenidos del portal de descarga de la pagina oficial de Instituto Nacional de Estadística e Información Geográfica (INEGI, 2013), y del Sistema de Información Territorial en Línea (SITEL, 2014) y posteriormente re-proyectados al sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM) referenciado al Datum WGS 1984.

El diseño de impresión de los planos resultantes se editó a escala 1: 850,000, reticulado cada 100,000 metros a un tamaño preestablecido por el programa de 594 mm de ancho por 841 mm de largo en orientación horizontal con una resolución de exportación de 300 ppp (píxeles por pulgadas).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

Para el desarrollo del trabajo se emplearon 150 estaciones Normales Climatológicas, cuyos datos corresponden a temperatura media mensual y anual, así como precipitación mensual y anual; procesándose la información con el programa Newhall V.1.6. 2010. El Cuadro 3 presenta por orden alfabético, el listado de estaciones meteorológicas; el municipio de localización; las coordenadas geográficas; la altura sobre el nivel del mar y el régimen hidrotérmico de los suelos.

El Cuadro 4, presenta el listado de regímenes de humedad y temperatura de los suelos, el contenido de humedad de la sección de control según el tipo de suelo y la temperatura media de verano, invierno y anual, de cada estación meteorológica.

El Cuadro 5 muestra el listado de estaciones meteorológicas, el régimen hidrotérmico, el contenido de humedad de la sección de control, el número de días acumulados y consecutivos en que la sección de control del suelo se encuentra húmeda o seca a través del año, incluyendo días secos después del solsticio de verano ó húmedo después del solsticio de invierno.

Por último se presenta el Cuadro 6, que muestra la humedad almacenada (mm) en la sección de control en tres texturas de suelos, el régimen hidrotérmico y temperatura (°C) del aire, para cada estación empleada.

Con la información de los cinco cuadros señalados, se pueden generar gráficas en las que se definan periodos fenológicos de los cultivos, por disponibilidad de agua y temperatura en el suelo; mostrando el avance de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial a través del año. A continuación se presentan los cuadros descritos:

**Cuadro 3. Listado de estaciones meteorológicas normales del estado de Jalisco y regímenes hidrotérmicos de suelos.**

ESTACION METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO MUNICIPIO	LAT. N			LONG. W			ALTURA msnm	TEMP (°C)	LLUVIA Anual (mm)	REGIMEN HUMEDAD	SUBDIVISION HIDROTERMICA	HUMEDAD SCHS (mm)	REGIMEN TEMPERATURA
		(°)	(')	(')	(°)	(')	(')							
Acatlán de Juárez	Acatlán de Juárez	20	25	14	103	35	28	1370	20.5	773.5	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Ahualulco De Mercado (Smn)	Ahualulco De Mercado	20	42	1	103	58	34	1340	20.1	849.3	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Ahuetita	Teocaltiche	21	25	56	102	38	52	1985	18.3	637.1	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Ajojucar	Teocaltiche	21	33	48	102	26	22	1745	17.5	600.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Amacueca	Amacueca	20	1	0	103	36	0	1439	20.8	586.5	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Ameca	Ameca	20	32	52	104	2	50	1230	21.5	827.4	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Antonio Escobedo (Dge)	San Juanito De Escobedo	20	47	55	104	0	15	1360	19.4	966.2	Ustico	Tropustico Tipico	70	Termico
Antonio Escobedo (Smn)	San Juanito De Escobedo	20	47	0	103	57	0	1481	19.3	982.9	Ustico	Tempustico Tipico	70	Termico
Apazulco	La Huerta	19	18	23	104	53	15	5	25.9	826.9	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Apozol	Yahualica de González Gallo	21	1	5	102	49	33	1698	19.1	732.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Atemajac De Brizuela	Atemajac De Brizuela	20	8	20	103	43	39	2320	16.1	977.8	Ustico	Tropustico Udico	80	Isotermico
Atenguillo	Atenguillo	20	24	58	104	29	35	1300	20.4	833.6	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Atequiza	Ixtlahuacan De Los Membrillos	20	23	43	103	8	8	1520	20.3	835.8	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	20	33	0	102	30	30	1600	19.6	861.6	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Atoyac	Atoyac	20	0	35	103	30	55	1350	21.6	605.8	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Autlan	Autlan De Navarro	19	46	15	104	22	10	900	22.9	689.3	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Bocas	Mezquitic	22	24	0	103	43	34	1352	20.5	566.4	Ustico	Tropustico Tipico	80	Hipertermico
Bolaños	Bolaños	21	49	30	103	47	0	963	24.6	610.1	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Cajon De Peña	Tomatlan	19	59	36	105	7	48	132	25.7	1142	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Calera	Teocaltiche	21	29	53	102	35	11	1800	17.7	410.9	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isotermico
Canoas	Toliman	19	34	27	103	54	46	760	24.9	504.9	Ustico	Aridico Tipico	90	Isohipertermico
Casa Llanta	Colotlan	22	3	32	103	21	43	1730	19.5	719	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Casimiro Castillo	Casimiro Castillo	19	37	4	104	27	29	310	28.1	1657.7	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Chapala	Chapala	20	17	24	103	11	21	1530	20.5	900.7	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Cihuatlan (Dge)	Cihuatlan	19	14	15	104	33	43	20	27	908.4	Ustico	Tropustico Aridico	90	Isohipertermico
Colotlan (Dge)	Colotlan	22	6	51	103	15	59	1660	18.5	566.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Comanja de Corona	Lagos De Moreno	21	19	33	101	42	50	2244	15.8	712.5	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Concepcion de Buenos Aires	Concepción De Buenos Aires	19	58	42	103	15	38	1639	16.3	944.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Contla	Tamazula De Gordiano	19	45	11	103	10	52	1160	22.3	1179.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Corrinchis li	Mascota	20	30	2	104	46	25	1267	18.8	1112	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Cuautitlan	Cuautitlan De Garcia Barragan	19	27	2	104	21	33	600	28.2	1597.6	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Cuitzmala	La Huerta	19	23	30	104	48	0	180	25.5	563.6	Aridico	Aridico Tipico	80	Isohipertermico
Cuixtla	San Cristobal De La Barranca	21	3	7	103	26	20	1000	24.8	875.7	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Cuquio	Cuquio	20	55	40	103	1	24	1790	17.9	760.7	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Ejutla	Ejutla	19	54	20	104	9	45	1140	23.3	863.4	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
El Chante	Autlan De Navarro	19	43	7	104	12	12	900	21.9	878.2	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
El Chiflon	Cihuatlan	19	17	30	104	33	30	360	26.1	1375.2	Ustico	Tropustico Aridico	90	Isohipertermico
El Cuale	Puerto Vallarta	20	35	47	105	13	12	53	22.7	1584	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
El Fuerte	Ocotlan	20	19	51	102	45	48	1540	20.2	843.2	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
El Guayabo	Pihuamo	19	15	54	103	17	28	1460	26.6	788.7	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
El Nogal	Tapalpa	19	53	50	103	47	14	2000	16	751.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
El Pinito	Huejuquilla El Alto	22	36	33	103	56	54	1684	18.5	637.1	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico

Continua cuadro 3

ESTACION METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO	LAT. N			LONG. W			ALTURA	TEMP	LLUVIA	REGIMEN	SUBDIVISION	HUMEDAD	REGIMEN
PERIODO 1986-2010	MUNICIPIO	(°)	(')	('')	(°)	(')	('')	msnm	(°C)	Anual (mm)	HUMEDAD	HIDROTERMICA	SCHS (mm)	TEMPERATURA
El Puesto	Lagos De Moreno	21	37	32	101	57	59	2050	21.5	564.7	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
El Rodeo	Atenguillo	20	15	7	104	35	29	1520	18.1	999.3	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
El Rosario	Tuxcaquesco	19	38	55	103	59	0	700	25	622.3	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
El Salitre	San Martin De Hidalgo	20	30	37	103	51	25	1260	20.5	850.3	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
El Tuito	Cabo Corrientes	20	19	11	105	19	34	600	22.3	1588.1	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
El Tule	Arandas	20	43	1	102	26	28	2005	16.4	868	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
El Zapote	Colotlan	22	2	34	103	19	45	1458	19.7	641.1	Ustico	Tempustico Tipico	80	Hipertermico
Encarnacion de Diaz	Encarnacion de Diaz	21	31	27	102	14	13	1810	17.6	606.4	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Etzatlan (Dge)	Etzatlan	20	45	53	104	4	50	1400	20.2	1045.3	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Guachinango (Smn)	Guachinango	20	34	34	104	22	50	1440	19.5	945.6	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Guadalajara (Dge)	Guadalajara	20	40	35	103	20	46	1550	21	989.6	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
Guadalajara (Smn) Rayón 388	Guadalajara	20	42	0	103	23	0	1567	21.3	927	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
Higuera Blanca	Tomatlan	19	59	39	105	9	45	140	25.8	674	Aridico	Aridico Tipico	80	Isohipertermico
Hostotipaquillo	Hostotipaquillo	21	3	29	104	3	5	1300	21.9	864.2	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Huascato	Degollado	20	28	50	102	14	56	1619	20.2	790.3	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Huejucar (Obs)	Huejucar	22	21	27	103	12	36	1830	17.9	572.5	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico
Huejuquilla El Alto (Dge)	Huejuquilla El Alto	22	37	40	103	53	51	1740	16.6	470.2	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico
Huerta Vieja	Ixtlahuacan De Los Membrillos	20	25	33	103	14	32	1550	18.4	916.1	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Ingenio Tamazula	Tamazula De Gordiano	19	41	15	103	15	28	1450	21.8	1036.7	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Ixtlahuacan de Santiago	Union de Tula	19	59	50	104	11	6	1460	20.6	501	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Ixtlahuacan del Rio	Ixtlahuacan del Rio	20	53	19	103	15	0	1825	17.2	859.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Jalostotitlan	Jalostotitlan	21	10	6	102	27	55	1750	23.5	691	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Jamay	Jamay	20	17	24	102	42	34	1530	18.9	751.5	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Jesus Maria	Jesus Maria	20	36	29	102	12	55	2129	16.7	815.3	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Jilotlan	Jilotlan de Los Dolores	19	22	14	103	1	10	740	21.5	897.4	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Jocotepec	Jocotepec	20	17	1	103	25	46	1540	19	849.8	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Juchitlan	Juchitlan	20	5	0	104	5	51	1230	20.3	845.1	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
La Barca	La Barca	20	19	44	102	32	33	1537	20.1	803.7	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
La Cuña	Yahualica de Gonzalez Gallo	21	0	24	102	49	24	1490	19.9	807.9	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
La Desembocada	Puerto Vallarta	20	43	43	105	12	24	19	26.1	1052.5	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
La Experiencia	Guadalajara	20	40	13	103	17	9	1550	21	933.7	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
La Huerta	La Huerta	19	28	52	104	38	21	280	25.4	920.4	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
La Manzanilla de La Paz	La Manzanilla de La Paz	20	0	15	103	9	15	2050	19.6	917.1	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
La Red	Tepatitlan de Morelos	20	43	31	102	48	46	1774	18.4	868.1	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
La Saucedá	Lagos de Moreno	21	21	11	101	50	50	1940	17.5	630	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
La Vaquera	Arandas	20	51	27	102	13	12	2081	16.8	756.7	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
La Vega	Teuchitlan	20	35	30	103	51	30	1260	21.5	889.4	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
La Yerbabuena	Tototlan	20	34	54	102	44	44	1588	20.2	865.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Lagos de Moreno (Dge)	Lagos de Moreno	21	21	37	101	55	14	1884	17.6	606.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Llano Grande	Tomatlan	20	2	13	104	52	27	300	25.1	1362.6	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico

Continua cuadro 3

ESTACION METEOROLOGICA PERIODO 1986-2010	ESTADO DE JALISCO MUNICIPIO	LAT. N			LONG. W			ALTURA msnm	TEMP (°C)	LLUVIA Anual (mm)	REGIMEN HUMEDAD	SUBDIVISION HIDROTERMICA	HUMEDAD SCHS (mm)	REGIMEN TEMPERATURA
		(°)	(')	(")	(°)	(')	(")							
Los Olivos	Jilotlan De Los Dolores	19	12	28	102	51	44	420	27.1	670.6	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Magdalena	Magdalena	20	54	23	103	58	47	1380	21.1	922.5	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Manantlan	Cuautitlan De Garcia Barragan	19	37	6	104	12	11	1450	18.7	1100.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Mascota (Smn)	Mascota	20	31	31	104	47	11	1230	20.4	925.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Mazamitla	Mazamitla	19	54	56	103	1	10	2240	16.2	935.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Mexxicacan	Mexxicacan	21	15	55	102	46	37	1750	17.8	757.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Mezcala	Poncitlan	20	20	8	103	1	3	1530	20.2	880	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Michoacanejo	Teocaltiche	21	32	24	102	35	48	1860	17.1	580.4	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Mixtlan	Mixtlan	20	26	17	104	24	32	1540	18.8	979.7	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Ojuelos de Jalisco (Dge)	Ojuelos de Jalisco	21	51	58	101	35	35	2220	15.5	584	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Palo Verde	Zapotlanejo	20	38	25	102	57	4	1730	18.2	714.7	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Paso del Cuarenta li	Lagos de Moreno	21	29	20	101	45	10	1998	17.6	551.9	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Paso del Sabino	Teocaltiche	21	20	26	102	37	6	1765	17.6	618.1	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico
Piedra Barrenada	Jocotepec	20	16	0	103	25	30	1530	21.5	827.7	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Pihuamo	Pihuamo	19	15	7	103	22	43	720	21.4	1619.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Plan de Barrancas	Hostotipaquillo	21	2	32	104	12	41	830	24	887.5	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Poncitlan	Poncitlan	20	22	52	102	55	40	1520	19.4	768.4	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Presa Achimec	Huejucar	22	19	31	103	13	41	1825	18.1	599.2	Ustico	Tropustico Aridico	80	Termico
Presa Basilio Vadillo	Ejutla	19	54	52	104	3	49	824	24.4	726.8	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Presa Calderon	Zapotlanejo	20	41	45	102	57	9	1620	19.7	838.8	Ustico	Tropustico Tipico	70	Isohipertermico
Presa El Volantin	Tizapan El Alto	20	3	16	103	6	15	1890	17.4	663.7	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Presa Hurtado	Acatlan de Juarez	20	26	22	103	37	57	1400	19.4	865.1	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Presa La Duquesa	Lagos De Moreno	21	13	28	101	49	12	1950	18.2	510.8	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Presa Santa Rosa (Cfe)	Amatitan	20	53	31	103	40	20	790	24.8	859.6	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Puente Arcediano (Cfe)	Guadalajara	20	44	5	103	17	9	1015	24	894.4	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Quito	Tuxpan	19	31	30	103	26	0	1045	21.5	865.5	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
Quitupan	Quitupan	19	55	36	102	52	33	1660	20.5	835.4	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
San Bernardo	Teocaltiche	21	37	54	102	23	28	1800	17.9	549.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
San Diego de Alejandria	San Diego de Alejandria	20	59	39	101	59	39	1960	17.9	708.5	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
San Gaspar de Los Reyes	Jalostotitlan	21	17	5	102	29	50	1750	18.1	671.2	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico
San Gregorio	Gomez Farias	19	53		103	21		1845	15.6	1242.9	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
San Juan de Los Potreros	Chimaltitan	21	42	19	103	35	52	2235	16	976.9	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
San Marcos	Tonila	19	26	42	103	30	15	1120	22.3	1210.9	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
San Miguel El Alto	San Miguel El Alto	21	1	47	102	24	8	1850	17.7	731.3	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Santa Maria De Los Angeles	Santa Maria De Los Angeles	22	10	0	103	14	0	1745	18	678.4	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico
Santa Rosa	Amatitan	20	54	20	103	43	35	1059	26.3	880.9	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Tacotan	Union De Tula	20	1	57	104	17	56	1330	20.4	834.9	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Tala	Tala	20	38	54	103	42	4	1330	20.8	879.6	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
Talpa de Allende	Talpa de Allende	20	22	50	104	49	20	1155	20.6	954.1	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Tapalpa (Smn)	Tapalpa	19	56	42	103	45	29	2060	16	867.2	Ustico	Tropustico Udico	80	Isotermico
Tecalitlan	Tecatitlan	19	28	9	103	18	23	1140	21.9	863.9	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Tecolotlan (Dge)	Tecolotlan	20	12	10	104	2	56	1200	22.1	756.4	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico

Continúa cuadro 3

ESTACION METEOROLOGICA		LAT. N			LONG. W			ALTURA	TEMP	LLUVIA	REGIMEN	SUBDIVISION	HUMEDAD	REGIMEN
PERIODO 1986-2010	MUNICIPIO	(°)	(')	(")	(°)	(')	(")	(msnm)	(°C)	Anual (mm)	HUMEDAD	HIDROTERMICA	SCHS (mm)	TEMPERATURA
Tecolotlan (Smn)	Tecolotlan	20	12	00	104	03	00	1200	22.5	733.2	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Tecomates	Casimiro Castillo	19	33	30	104	30	00	286	25.4	1469.2	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Temastian	Totatiche	21	58	28	103	31	30	1870	17.9	796.0	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Tenamaxtlan	Tenamaxtlan	20	13	03	104	09	51	1470	20.5	906.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Tenasco	Colotlan	22	9	24	103	13	58	1710	17.6	687.7	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Tenzompa	Huejuquilla El Alto	22	22	34	103	55	29	1770	16.6	741.8	Ustico	Tempustico Tipico	80	Termico
Teocaltiche (Dge)	Teocaltiche	21	26	01	102	34	26	1740	17.8	526.4	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isotermico
Teocuitatlan	Teocuitatlan De Corona	20	5	39	103	22	35	1370	21.5	471.5	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Tequila	Tequila	20	52	58	103	50	12	1180	22.2	853.6	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Tizapan El Alto (Dge)	Tizapan El Alto	20	9	30	103	02	36	1550	20	702.9	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Tlacuitapan	Unión de San Antonio	21	11	53	102	07	30	1800	17.2	648.5	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Tlajomulco de Zúñiga	Tlajomulco de Zúñiga	20	28	22	103	26	48	1560	19.3	779.7	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Tlaquepaque	Tlaquepaque	20	38	18	103	18	38	1540	21	998.9	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
Tomatlán	Tomatlán	19	56	27	105	14	55	50	26.3	803.5	Ustico	Tropustico Aridico	90	Isohipertermico
Tonalá	Tonalá	20	37	25	103	14	28	1660	19.8	829.0	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Totatiche	Totatiche	21	55	38	103	26	35	1760	18.4	739.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Termico
Tototlán	Tototlán	20	32	33	102	47	35	1540	19.4	787.4	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isotermico
Totuate	Mezquitic	22	17	04	103	44	9	1360	21.1	506.1	Ustico	Tempustico Tipico	80	Hipertermico
Tuxcacuesco	Tuxcacuesco	19	41	49	103	58	58	720	22.6	670.3	Ustico	Tropustico Aridico	80	Isohipertermico
Tuxcueca	Tuxcueca	20	9	13	103	11	4	1530	19.9	719.6	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Unión de San Antonio	Union de San Antonio	21	7	53	102	00	17	1917	18.1	671.8	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Unión de Tula	Union de Tula	19	57	16	104	16	4	1340	20.7	797.5	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Valle de Juárez (Smn)	Valle de Juárez	19	56	0	102	57	0	1950	18.1	676.2	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Villa Guerrero	Villa Guerrero	21	59	0	103	36	0	1785	18.4	737.6	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Villa Obregón	Cañadas de Obregón	21	8	54	102	41	20	1850	19.7	701.3	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico
Villa Purificación (Dge)	Villa Purificación	19	43	8	104	36	7	440	24.9	1416.2	Ustico	Tropustico Aridico	70	Isohipertermico
Yahualica de González Gallo	Yahualica de González Gallo	21	10	54	102	53	26	1800	17.6	708.3	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isotermico
Zacoalco de Torres	Zacoalco de Torres	20	13	40	103	34	10	1350	21.3	399.7	Aridico	Aridico Ligero	70	Isohipertermico
Zapopan	Zapopan	20	43	13	103	23	31	1560	20.6	999.3	Ustico	Tropustico Tipico	90	Isohipertermico
Zapotlanejo (Smn)	Zapotlanejo	20	37	0	103	4	0	1515	20.3	879.9	Ustico	Tropustico Tipico	80	Isohipertermico

**Cuadro 4. Regímenes de Humedad y Temperatura de los Suelos de Estado de Jalisco.**

SUBDIVISION HIDROTERMICA	ESTACIÓN METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO MUNICIPIO	REGIMEN HUMEDAD	HUMEDAD SCHS (mm)	TEMPERATURA		
					VERANO	INVIERNO	ANUAL
<b>ARIDICO TIPICO</b>							
Isohipertermico	Canoas	Tolimán	Ustico	90	26.60	22.43	24.9
Isohipertermico	Cuitzmala	La Huerta	Aridico	80	27.56	22.53	25.5
Isohipertermico	Higuera Blanca	Tomatlán	Aridico	80	28.36	23.06	25.8
<b>ARIDICO LIGERO</b>							
Isohipertermico	Zacoalco de Torres	Zacoalco De Torres	Aridico	70	22.63	19.03	21.3
<b>TROPUSTICO ARIDICO</b>							
Isohipertermico	Acatlán de Juárez	Acatlán de Juárez	Ustico	80	22.43	17.63	20.5
Isohipertermico	Ahualulco de Mercado	Ahualulco de Mercado	Ustico	70	23.06	18.06	20.1
Isohipertermico	Ameca	Ameca	Ustico	70	22.90	18.93	21.5
Isohipertermico	Apazulco	La Huerta	Ustico	80	28.20	23.23	25.9
Isohipertermico	Atequiza	Ixtlahuacán de Los Membrillos	Ustico	70	21.86	17.76	20.3
Isohipertermico	Atoyac	Atoyac	Ustico	70	22.43	19.60	21.6
Isohipertermico	Autlán	Autlán de Navarro	Ustico	80	24.93	20.03	22.9
Isohipertermico	Bolaños	Bolaños	Ustico	80	26.33	21.46	24.6
Isohipertermico	Cajón de Peña	Tomatlán	Ustico	80	27.53	23.06	25.7
Isotermico	Calera	Teocaltiche	Ustico	80	19.36	14.93	17.7
Isohipertermico	Casimiro Castillo	Casimiro Castillo	Ustico	80	28.73	26.30	28.1
Isohipertermico	Chapala	Chapala	Ustico	70	21.40	18.60	20.5
Isohipertermico	Cihuatlán (Dge)	Cihuatlán	Ustico	90	28.70	25.00	27.0
Isohipertermico	Cuautitlán	Cuautitlán de García Barragán	Ustico	80	29.43	25.93	28.2

Continua cuadro 4

SUBDIVISIÓN HIDROTERMICA	ESTACIÓN METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO MUNICIPIO	REGIMEN HUMEDAD	HUMEDAD SCHS (mm)	TEMPERATURA		
					VERANO	INVIERNO	ANUAL
Isohipertermico	Cuixtla	Sn Cristobal de La Barranca	Ustico	80	26.26	22	24.8
Isohipertermico	Ejutla	Ejutla	Ustico	80	23.93	21.4	23.3
Isohipertermico	El Chante	Autlan De Navarro	Ustico	80	23.8	19.43	21.9
Isohipertermico	El Chiflon	Cihuatlan	Ustico	90	27.33	23.8	26.1
Isohipertermico	El Fuerte	Ocotlan	Ustico	70	21.86	17.66	20.2
Isohipertermico	El Guayabo	Pihuamo	Ustico	80	27.73	24.4	26.6
Isohipertermico	El Puesto	Lagos de Moreno	Ustico	80	22.8	19.1	21.5
Isohipertermico	El Salitre	San Martin de Hidalgo	Ustico	70	22.6	17.56	20.5
Isotermico	El Tule	Arandas	Ustico	70	18.03	13.9	16.4
Isohipertermico	Etzatlan (Dge)	Etzatlan	Ustico	70	22	17.36	20.2
Isohipertermico	Hostotipaquillo	Hostotipaquillo	Ustico	80	22.6	20.73	21.9
Isotermico	Huerta Vieja	Ixtlahuacan de Los Membrillos	Ustico	70	19.73	15.9	18.4
Isohipertermico	Ixtlahuacan de Santiago	Union de Tula	Ustico	80	20.43	16.4	18.9
Isotermico	Jamay	Jamay	Ustico	70	20.43	16.4	18.9
Isotermico	Jesus Maria	Jesus Maria	Ustico	70	17.66	14.7	16.7
Isotermico	Jocotepec	Jocotepec	Ustico	70	19.9	16.76	19
Isohipertermico	La Barca	La Barca	Ustico	70	21.7	17.6	20.1
Isohipertermico	La Desembocada	Puerto Vallarta	Ustico	80	28.46	23	26.1
Isohipertermico	La Huerta	La Huerta	Ustico	80	27	23.03	25.4
Isotermico	La Red	Tepatitlan De Morelos	Ustico	70	24.4	17.76	20.2
Isohipertermico	La Vega	Teuchitlan	Ustico	80	23.76	18.43	21.5
Isohipertermico	Llano Grande	Tomatlan	Ustico	70	22.06	19.93	21.5
Isohipertermico	Los Olivos	Jilotlan de Los Dolores	Ustico	80	27.43	25.56	27.1
Isohipertermico	Magdalena	Magdalena	Ustico	80	23.43	18.03	21.1
Isohipertermico	Mezcala	Poncitlan	Ustico	70	24.4	17.76	20.2
Isotermico	Palo Verde	Zapotlanejo	Ustico	70	19.13	16.06	18.2
Isohipertermico	Piedra Barrenada	Jocotepec	Ustico	70	22.06	19.93	21.5

Continúa cuadro 4

SUBDIVISIÓN	ESTACIÓN METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO	REGIMEN	HUMEDAD	TEMPERATURA		
					HUMEDAD	VERANO	INVIERNO
HIDROTERMICA		MUNICIPIO		SCHS (mm)			
<b>TROPUSTICO ARIDICO</b>							
Isotermico	Poncitlan	Poncitlan	Ustico	70	20.93	16.86	19.4
Isohipertermico	Plan de Barrancas	Hostotipaquillo	Ustico	80	25.56	21.06	24
Termico	Presa Achimec	Huejucar	Ustico	80	20.66	14.63	18.1
Isohipertermico	Presa Basilio Vadillo	Ejutla	Ustico	80	25.56	22.10	24.4
Isotermico	Presa El Volantin	Tizapan El Alto	Ustico	70	18.70	15.23	17.4
Isotermico	Presa La Duquesa	Lagos de Moreno	Ustico	70	20.23	15.30	18.2
Isohipertermico	Presa Santa Rosa (Cfe)	Amatitan	Ustico	70	25.93	22.10	24.8
Isohipertermico	Quitupan	Quitupan	Ustico	70	21.90	18.16	20.5
Isohipertermico	San Marcos	Tonila	Ustico	70	22.90	20.60	22.3
Isohipertermico	Santa Rosa	Amatitan	Ustico	80	27.46	23.83	26.3
Isohipertermico	Tecalitlan	Tecatitlan	Ustico	80	23.53	19.23	21.9
Isohipertermico	Tecolotlan (Dge)	Tecolotlan	Ustico	80	23.60	19.50	22.1
Isohipertermico	Tecolotlan (Smn)	Tecolotlan	Ustico	80	24.00	19.83	22.5
Isohipertermico	Tecomates	Casimiro Castillo	Ustico	80	26.30	23.40	25.4
Isotermico	Teocaltiche (Dge)	Teocaltiche	Ustico	80	20.30	14.63	17.8
Isohipertermico	Teocuitatlan	Teocuitatlan de Corona	Ustico	70	22.13	20.06	21.5
Isohipertermico	Tequila	Tequila	Ustico	80	23.60	19.73	22.2
Isohipertermico	Tizapan El Alto (Dge)	Tizapan El Alto	Ustico	70	21.03	17.76	20
Isohipertermico	Tomatlan	Tomatlan	Ustico	90	28.90	23.36	26.3
Isotermico	Tototlan	Tototlan	Ustico	70	19.50	14.63	19.4
Isohipertermico	Tuxcacuesco	Tuxcacuesco	Ustico	80	25.06	19.90	22.6
Isohipertermico	Tuxcueca	Tuxcueca	Ustico	70	21.36	17.40	19.9
Isohipertermico	Villa Purificacion (Dge)	Villa Purificacion	Ustico	70	26.33	22.86	24.9

Continua cuadro 4

SUBDIVISIÓN	ESTACIÓN METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO	REGIMEN	HUMEDAD	TEMPERATURA		
					MUNICIPIO	HUMEDAD	SCHS (mm)
<b>TROPUSTICO TIPICO</b>							
Isotermico	Ahuetita	Teocaltiche	Ustico	80	17.83	13.36	18.3
Isotermico	Ajojucar	Teocaltiche	Ustico	80	20.06	14.26	17.5
Isohipertermico	Amacueca	Amacueca	Ustico	80	21.60	19.06	20.8
Isotermico	Apozol	Yahualica de Glez. Gallo	Ustico	80	20.63	16.63	19.1
Isohipertermico	Atenguillo	Atenguillo	Ustico	80	21.76	17.93	20.4
Isohipertermico	Atotonilco El Alto	Atotonilco El Alto	Ustico	80	21.16	17.23	19.6
Hipertermico	Bocas	Mezquitic	Ustico	80	23.43	16.43	20.5
Isotermico	Casa Llanta	Colotlan	Ustico	80	21.40	16.23	19.5
Isotermico	Colotlan (Dge)	Colotlan	Ustico	80	20.63	15.63	18.5
Isotermico	Comanja de Corona	Lagos de Moreno	Ustico	80	17.96	12.90	15.8
Isotermico	Concepcion de B. Aires	Concepcion de B. Aires	Ustico	80	17.10	14.86	16.3
Isohipertermico	Contla	Tamazula de Gordiano	Ustico	80	23.76	19.83	22.3
Isotermico	Corrinchis	Mascota	Ustico	80	21.00	15.73	18.8
Isotermico	Cuquio	Cuquio	Ustico	80	19.93	14.80	17.9
Isohipertermico	El Cuale	Puerto Vallarta	Ustico	90	25.63	19.46	22.7
Isotermico	El Nogal	Tapalpa	Ustico	80	17.83	13.36	16.0
Isotermico	El Rodeo	Atenguillo	Ustico	80	19.63	15.86	18.1
Isohipertermico	El Rosario	Tuxcaquesco	Ustico	80	26.33	22.80	25.0
Isohipertermico	El Tuito	Cabo Corrientes	Ustico	90	24.66	19.36	22.3
Isotermico	Encarnacion de Diaz	Encarnacion de Diaz	Ustico	80	19.46	14.56	17.6
Isotermico	Guachinango (Smn)	Guachinango	Ustico	80	21.93	16.53	19.5
Isohipertermico	Guadalajara (Dge)	Guadalajara	Ustico	90	21.80	19.00	21.0
Isohipertermico	Guadalajara Rayón 388	Guadalajara	Ustico	90	21.93	19.13	21.3
Isohipertermico	Huascato	Degollado	Ustico	80	21.76	17.46	20.2
Isohipertermico	Ingenio Tamazula	Tamazula de Gordiano	Ustico	80	23.33	19.46	21.8
Isotermico	Ixtlahuacan del Rio	Ixtlahuacan del Rio	Ustico	80	18.20	15.43	17.2
Isotermico	Jalostotitlan	Jalostotitlan	Ustico	80	20.03	14.96	23.5
Isohipertermico	Jilotlan	Jilotlan de Los Dolores	Ustico	80	23.06	18.76	21.5
Isohipertermico	Juchitlan	Juchitlan	Ustico	80	22.16	17.43	20.3

Continua cuadro 4

SUBDIVISIÓN	ESTACIÓN METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO	REGIMEN	HUMEDAD	TEMPERATURA		
					HUMEDAD	VERANO	INVIERNO
HIDROTERMICA		MUNICIPIO		SCHS (mm)			
<b>TROPUSTICO TIPICO</b>							
Isohipertermico	La Cuña	Yahualica de Glez. Gallo	Ustico	80	21.86	17.03	19.9
Isohipertermico	La Experiencia	Guadalajara	Ustico	90	22.20	18.63	21.0
Isohipertermico	La Manzanilla de La Paz	La Manzanilla de La Paz	Ustico	80	20.83	17.43	19.6
Isotermico	La Saucedá	Lagos de Moreno	Ustico	80	18.70	14.70	17.5
Isotermico	La Vaquera	Arandas	Ustico	80	17.86	14.66	16.8
Isohipertermico	La Yerbabuena	Tototlan	Ustico	80	21.23	18.03	20.2
Isotermico	Lagos De Moreno (Dge)	Lagos de Moreno	Ustico	80	19.83	14.63	17.6
Isotermico	Manantlán	Cuautitlan de Garcia	Ustico	80	20.16	16.20	18.7
Isohipertermico	Mascota (Smn)	Barragan	Ustico	80	22.66	17.43	20.4
Isotermico	Mazamitla	Mascota	Ustico	80	16.63	14.60	16.2
Isotermico	Mexiticacan	Mazamitla	Ustico	80	19.8	14.80	17.8
Isotermico	Michoacanejo	Mexiticacan	Ustico	80	18.93	14.60	17.1
Isotermico	Mixtlán	Teocaltiche	Ustico	80	18.93	14.60	17.1
Isotermico	Mixtlán	Mixtlán	Ustico	80	20.06	16.63	18.8
Isotermico	Ojuelos de Jalisco (Dge)	Ojuelos de Jalisco	Ustico	80	17.33	12.73	15.5
Isotermico	Paso del Cuarenta li	Lagos de Moreno	Ustico	80	19.96	14.63	17.6
Isohipertermico	Pihuamo	Pihuamo	Ustico	80	22.53	18.83	21.4
Isohipertermico	Presa Calderón	Zapotlanejo	Ustico	70	21.33	17.06	19.7
Isotermico	Presa Hurtado	Acatlán de Juárez	Ustico	80	21.46	16.33	19.4
Isohipertermico	Puente Arcediano (Cfe)	Guadalajara	Ustico	80	25.06	21.60	24.0
Isohipertermico	Quito	Tuxpan	Ustico	90	23.66	18.73	21.5
Isotermico	San Bernardo	Teocaltiche	Ustico	80	20.26	14.73	17.9
Isotermico	San Diego de Alejandría	San Diego de Alejandría	Ustico	80	19.03	15.76	17.9
Isotermico	San Gregorio	Gomez Farias	Ustico	80	17.93	12.76	15.6
Isotermico	San Juan de Los Potreros	Chimaltitán	Ustico	80	17.26	13.60	16.0
Isotermico	San Miguel El Alto	San Miguel El Alto	Ustico	80	19.50	15.10	17.7
Isohipertermico	Tacotan	Unión de Tula	Ustico	80	22.00	17.63	20.4

Continua cuadro 4

SUBDIVISIÓN	ESTACIÓN METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO	REGIMEN	HUMEDAD	TEMPERATURA		
					MUNICIPIO	HUMEDAD	SCHS (mm)
<b>HIDROTERMICA</b>							
<b>TROPUSTICO TIPICO</b>							
Isohipertermico	Tala	Tala	Ustico	90	22.63	18.1	20.8
Isohipertermico	Talpa de Allende	Talpa de Allende	Ustico	80	23.06	17.5	20.6
Isotermico	Temastian	Totatiche	Ustico	80	19.83	14.93	17.9
Isohipertermico	Tenamaxtlan	Tenamaxtlan	Ustico	80	22.03	17.76	20.5
Isotermico	Tenasco	Colotlan	Ustico	80	19.46	14.73	17.6
Isotermico	Tlacuitapan	Union de San Antonio	Ustico	80	18.8	14.76	17.2
Isotermico	Tlajomulco de Zuñiga	Tlajomulco de Zuñiga	Ustico	80	21.23	16.5	19.3
Isohipertermico	Tlaquepaque	Tlaquepaque	Ustico	90	22.23	18.63	21
Isohipertermico	Tonala	Tonala	Ustico	80	20.5	18.36	19.8
Isotermico	Union de San Antonio	Union de San Antonio	Ustico	80	19.23	16.03	18.1
Isohipertermico	Union de Tula	Union de Tula	Ustico	80	22.66	17.7	20.7
Isotermico	Valle de Juarez (Smn)	Valle de Juarez	Ustico	80	18.76	16.2	18.1
Isotermico	Villa Guerrero	Villa Guerrero	Ustico	80	20.23	15.56	18.4
Isohipertermico	Villa Obregon	Cañadas De Obregon	Ustico	80	21.33	17.13	19.7
Isotermico	Yahualica de Glez. Gallo	Yahualica de Glez. Gallo	Ustico	80	19.9	14.5	17.6
Isohipertermico	Zapopan	Zapopan	Ustico	90	21.83	18.36	20.6
Isohipertermico	Zapotlanejo (Smn)	Zapotlanejo	Ustico	80	21.73	17.93	20.3

Continúa cuadro 4

SUBDIVISIÓN HIDROTERMICA	ESTACION METEOROLOGICA	ESTADO DE JALISCO MUNICIPIO	REGIMEN HUMEDAD	HUMEDAD SCHS (mm)	TEMPERATURA		
					VERANO	INVIERNO	ANUAL
<b>TEMPUSTICO TIPICO</b>							
Termico	Antonio Escobedo (Dge)	San Juanito de Escobedo	Ustico	70	22.36	15.56	19.4
Termico	Antonio Escobedo (Smn)	San Juanito de Escobedo	Ustico	70	22.26	15.26	19.3
Termico	El Pinito	Huejuquilla El Alto	Ustico	80	21.23	14.76	18.5
Hipertermico	El Zapote	Colotlan	Ustico	80	22.63	15.73	19.7
Termico	Huejucar (Obs)	Huejucar	Ustico	80	20.7	14.33	17.9
Termico	Huejuquilla El Alto (Dge)	Huejuquilla El Alto	Ustico	80	19.23	17.76	16.6
Termico	Paso del Sabino	Teocaltiche	Ustico	80	20.6	13.9	17.6
Termico	San Gaspar de Los Reyes	Jalostotitlan	Ustico	80	21.03	14.43	18.1
Termico	Sta Maria de Los Angeles	Sta Maria de Los Angeles	Ustico	80	20.43	14.33	18
Termico	Tenzompa	Huejuquilla El Alto	Ustico	80	19.73	12.73	16.6
Termico	Totatiche	Totatiche	Ustico	80	21.1	14.93	18.4
Hipertermico	Totuate	Mezquitic	Ustico	80	23.6	17.43	21.1
<b>TROPUSTICO UDICO</b>							
Isotermico	Atemajac de Brizuela	Atemajac De Brizuela	Ustico	80	17	14.3	16.1
Isotermico	Tapalpa (Smn)	Tapalpa	Ustico	80	17.3	13.86	16

**Cuadro 5. Número de días acumulados y consecutivos en que la SCHS se encuentra con humedad o seca.**

ESTACIÓN	SUBDIVISIÓN	HUMEDAD (mm)	NUMERO DE DÍAS ACUMULADOS EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD						MAYOR NUMERO CONSECUTIVO DE DIAS DONDE SCH ES			
			DURANTE UN AÑO			TEMPERATURA DEL SUELO MAYOR A 5°C			HUMEDO		SECO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE VERANO	HUMEDO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE INVIERNO
			SECO	M/S	HUMEDO	SECO	M/S	HUMEDO	AÑO	T>8		
METEOROLOGICA	HIDROTERMICA	SCHS										
Acatlan de Juarez	Tropustico Aridico	80	185	32	143	185	32	143	175	175	0	0
Ahualulco de Mercado	Tropustico Aridico	70	182	42	136	182	42	136	160	160	0	0
Ahuetita	Tropustico Tipico	80	85	60	215	85	60	215	266	266	0	18
Ajojuacar	Tropustico Tipico	80	156	50	154	156	50	154	200	200	0	0
Amacueca	Tropustico Tipico	80	203	40	117	203	40	117	138	138	0	0
Ameca	Tropustico Aridico	70	187	35	138	187	35	138	161	161	0	0
Antonio Escobedo (Dge)	Tropustico Tipico	70	144	67	149	144	67	149	190	190	0	0
Antonio Escobedo (Smn)	Tropustico Tipico	70	147	55	158	147	55	158	192	192	0	0
Apazulco	Tropustico Aridico	80	204	46	110	204	46	110	126	126	10	0
Apozol	Tropustico Tipico	80	162	38	160	162	38	160	198	198	0	0
Atemajac de Brizuela	Tropustico Udico	80	70	39	251	70	39	251	280	280	0	56
Atenguillo	Tropustico Tipico	80	156	38	166	156	38	166	204	204	0	0
Atequiza	Tropustico Aridico	70	180	33	147	180	33	147	177	177	0	0
Atotonilco El Alto	Tropustico Tipico	80	120	68	172	120	68	172	233	233	0	0
Atoyac	Tropustico Aridico	70	191	34	135	191	34	135	157	157	0	0
Autlan	Tropustico Aridico	80	171	60	129	171	60	129	140	140	11	0
Bocas	Tropustico Tipico	80	182	62	116	182	62	116	135	135	3	0
Bolaños	Tropustico Aridico	80	241	39	80	241	39	80	97	97	8	0
Cajon de Peña	Tropustico Aridico	80	193	28	139	193	28	139	154	154	0	0
Calera	Tropustico Aridico	80	209	50	101	209	50	101	135	135	14	0
Canoas	Aridico Tipico	90	263	39	58	263	39	58	25	25	11	0
Casa Llanta	Tropustico Tipico	80	174	41	145	174	41	145	186	186	0	0
Casimiro Castillo	Tropustico Aridico	80	202	16	142	202	16	142	158	158	0	0
Chapala	Tropustico Aridico	70	180	26	154	180	26	154	177	177	0	0
Cihuatlan (Dge)	Tropustico Aridico	90	214	25	121	214	25	121	123	123	7	0
Colotlan (Dge)	Tropustico Tipico	80	150	75	135	150	75	135	192	192	0	0
Comanja De Corona	Tropustico Tipico	80	98	84	178	98	84	178	255	255	0	0
Concepcion De Buenos Aires	Tropustico Tipico	80	95	79	186	95	79	186	253	253	0	0

Continua cuadro 5

ESTACIÓN	SUBDIVISIÓN	HUMEDAD (mm)	NUMERO DE DÍAS ACUMULADOS EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD						MAYOR NUMERO CONSECUTIVOS DE DIAS DONDE SCH ES			
			DURANTE UN AÑO			TEMPERATURA DEL SUELO MAYOR A 5°C			HUMEDO		SECO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE VERANO	HUMEDO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE INVIERNO
			SECO	M/S	HUMEDO	SECO	M/S	HUMEDO	AÑO	T>8		
METEOROLOGICA	HIDROTERMICA	SCHS										
Contla	Tropustico Tipico	80	159	36	165	159	36	165	196	196	0	0
Corrinchis Ii	Tropustico Tipico	80	127	59	174	127	59	174	233	233	0	0
Cuatitlan	Tropustico Aridico	80	196	21	143	196	21	143	159	159	0	0
Cuitzmala	Aridico Tipico	80	243	52	65	243	52	65	56	56	15	0
Cuixtla	Tropustico Aridico	80	204	33	123	204	33	123	146	146	0	0
Cuquio	Tropustico Tipico	80	137	53	170	137	53	170	223	223	0	0
Ejutla	Tropustico Aridico	80	172	34	154	172	34	154	174	174	0	0
El Chante	Tropustico Aridico	80	170	42	148	170	42	148	173	173	0	0
El Chiflon	Tropustico Aridico	90	189	26	145	189	26	145	163	163	0	0
El Cuale	Tropustico Tipico	90	150	50	160	150	50	160	192	192	0	0
El Fuerte	Tropustico Aridico	70	185	33	142	185	33	142	171	171	0	0
El Guayabo	Tropustico Aridico	80	217	36	107	217	36	107	137	137	0	0
El Nogal	Tropustico Tipico	80	85	60	215	85	60	215	266	266	0	18
El Pinito	Tempustico Tipico	80	127	82	151	127	82	151	208	208	0	0
El Puesto	Tropustico Aridico	80	193	43	124	193	43	124	164	164	0	0
El Rodeo	Tropustico Tipico	80	112	59	189	112	59	189	248	248	0	0
El Rosario	Tropustico Tipico	80	222	46	92	222	46	92	111	111	10	0
El Salitre	Tropustico Aridico	70	196	27	137	196	27	137	161	161	0	0
El Tuito	Tropustico Tipico	90	141	50	169	141	50	169	219	219	0	0
El Tule	Tropustico Aridico	70	148	46	166	148	46	166	202	202	0	0
El Zapote	Tempustico Tipico	80	174	45	141	174	45	141	186	186	0	0
Encarnacion De Diaz	Tropustico Tipico	80	130	66	164	130	66	164	230	230	0	0
Etzatlan (Dge)	Tropustico Aridico	70	145	58	157	145	58	157	185	185	0	0
Guachinango (Smn)	Tropustico Tipico	80	134	60	166	134	60	166	226	226	0	0
Guadalajara (Dge)	Tropustico Tipico	90	157	39	164	157	39	164	200	200	0	0
Guadalajara Rayón 388	Tropustico Tipico	90	146	51	163	146	51	163	202	202	0	0
Higuera Blanca	Aridico Tipico	80	236	42	82	236	42	82	78	78	15	0

Continua cuadro 5

ESTACIÓN	SUBDIVISIÓN	HUMEDAD (mm)	NUMERO DE DÍAS ACUMULADOS EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD						MAYOR NUMERO CONSECUTIVOS DE DIAS DONDE SCH ES			
			DURANTE UN AÑO			TEMPERATURA DEL SUELO MAYOR A 5°C			HUMEDO		SECO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE VERANO	HUMEDO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE INVIERNO
			SCHS	SECO	M/S	HUMEDO	SECO	M/S	HUMEDO	AÑO	T>8	
Hostotipaquillo	Tropustico Aridico	80	184	30	146	184	30	146	170	170	0	0
Huascato	Tropustico Tipico	80	168	43	149	168	43	149	186	186	0	0
Huejucar (Obs)	Tempustico Tipico	80	141	74	145	141	74	145	195	195	0	0
Huejuquilla El Alto (Dge)	Tempustico Tipico	80	170	48	142	170	48	142	190	190	0	0
Huerta Vieja	Tropustico Aridico	70	142	54	164	142	54	164	199	199	0	0
Ingenio Tamazula	Tropustico Tipico	80	153	44	163	153	44	163	192	192	0	0
Ixtlahuacan de Santiago	Tropustico Aridico	80	191	28	141	191	28	141	169	169	0	0
Ixtlahuacan del Rio	Tropustico Tipico	80	132	55	173	132	55	173	228	228	0	0
Jalostotitlan	Tropustico Tipico	80	162	41	157	162	41	157	198	198	0	0
Jamay	Tropustico Aridico	70	176	38	146	176	38	146	184	184	0	0
Jesus Maria	Tropustico Aridico	70	147	46	167	147	46	167	203	203	0	0
Jilotlan	Tropustico Tipico	80	154	47	159	154	47	159	188	188	0	0
Jocotepec	Tropustico Aridico	70	137	60	163	137	60	163	197	197	0	0
Juchitlan	Tropustico Tipico	80	149	55	156	149	55	156	193	193	0	0
La Barca	Tropustico Aridico	70	163	38	159	163	38	159	191	191	0	0
La Cuña	Tropustico Tipico	80	165	47	148	165	47	148	190	190	0	0
La Desembocada	Tropustico Aridico	80	199	41	120	199	41	120	148	148	0	0
La Experiencia	Tropustico Aridico	90	159	38	163	159	38	163	201	201	0	0
La Huerta	Tropustico Aridico	80	204	24	132	204	24	132	156	156	0	0
La Manzanilla de La Paz	Tropustico Tipico	80	126	64	170	126	64	170	229	229	0	0
La Red	Tropustico Aridico	70	160	36	164	160	36	164	197	197	0	0
La Saucedá	Tropustico Tipico	80	146	52	162	146	52	162	209	209	0	0
La Vaquera	Tropustico Tipico	80	147	45	168	147	45	168	206	206	0	0
La Vega	Tropustico Aridico	80	186	33	141	186	33	141	171	171	0	0
La Yerbabuena	Tropustico Tipico	80	162	38	160	162	38	160	194	194	0	0
Lagos de Moreno (Dge)	Tropustico Tipico	80	150	52	158	150	52	158	204	204	0	0
Llano Grande	Tropustico Aridico	70	201	29	130	201	29	130	146	146	4	0

Continua cuadro 5

ESTACIÓN	SUBDIVISIÓN	HUMEDAD (mm)	NUMERO DE DÍAS ACUMULADOS EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD						MAYOR NUMERO CONSECUTIVOS DE DIAS DONDE SCH ES			
			DURANTE UN AÑO			TEMPERATURA DEL SUELO MAYOR A 5°C			HUMEDO		SECO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE VERANO	HUMEDO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE INVIERNO
			SECO	M/S	HUMEDO	SECO	M/S	HUMEDO	AÑO	T>8		
METEOROLOGICA	HIDROTERMICA	SCHS										
Los Olivos	Tropustico Aridico	80	228	41	91	228	41	91	105	105	3	0
Magdalena	Tropustico Aridico	80	176	45	139	176	45	139	169	169	0	0
Manantlan	Tropustico Tipico	80	108	46	206	108	46	206	248	248	0	14
Mascota (Smn)	Tropustico Tipico	80	146	54	160	146	54	160	198	198	0	0
Mazamitla	Tropustico Tipico	80	87	57	216	87	57	216	261	261	0	18
Mexicacan	Tropustico Tipico	80	122	75	163	122	75	163	232	232	0	0
Mezcala	Tropustico Aridico	70	161	43	156	161	43	156	186	186	0	0
Michoacanejo	Tropustico Tipico	80	170	44	146	170	44	146	190	190	0	0
Mixtlan	Tropustico Tipico	80	148	44	168	148	44	168	205	205	0	0
Ojuelos de Jalisco (Dge)	Tropustico Tipico	80	113	73	174	113	73	174	238	238	0	0
Palo Verde	Tropustico Aridico	70	174	30	156	174	30	156	186	186	0	0
Paso del Cuarenta li	Tropustico Tipico	80	163	43	154	163	43	154	192	192	0	0
Paso del Sabino	Tempustico Tipico	80	157	57	146	157	57	146	203	203	0	0
Piedra Barrenada	Tropustico Aridico	70	174	33	153	174	33	153	174	174	0	0
Pihuamo	Tropustico Tipico	80	101	45	214	101	45	214	253	253	0	20
Plan de Barrancas	Tropustico Aridico	80	201	33	126	201	33	126	145	145	0	0
Poncitlan	Tropustico Aridico	70	174	43	143	174	43	143	173	173	0	0
Presa Achimec	Tropustico Aridico	80	129	73	158	129	73	158	231	231	0	0
Presa Basilio Vadillo	Tropustico Aridico	80	198	37	125	198	37	125	148	148	0	0
Presa Calderon	Tropustico Tipico	70	169	33	158	169	33	158	188	188	0	0
Presa El Volantin	Tropustico Aridico	70	155	38	167	155	38	167	200	200	0	0
Presa Hurtado	Tropustico Tipico	80	145	55	160	145	55	160	196	196	0	0
Presa La Duquesa	Tropustico Aridico	70	174	50	136	174	50	136	168	168	0	0
Presa Santa Rosa (Cfe)	Tropustico Aridico	70	201	40	119	201	40	119	147	147	0	0
Puente Arcediano (Cfe)	Tropustico Tipico	80	184	41	135	184	41	135	163	163	0	0
Quito	Tropustico Tipico	90	149	51	160	149	51	160	193	193	0	0
Quitupan	Tropustico Aridico	70	154	49	157	154	49	157	185	185	0	0

Continua cuadro 5

ESTACIÓN METEOROLOGICA	SUBDIVISIÓN HIDROTERMICA	HUMEDAD (mm) SCHS	NUMERO DE DÍAS ACUMULADOS EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD						MAYOR NUMERO CONSECUTIVOS DE DIAS DONDE SCH ES			
			DURANTE UN AÑO			TEMPERATURA DEL SUELO MAYOR A 5°C			HUMEDO		SECO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE VERANO	HUMEDO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE INVIERNO
			SECO	M/S	HUMEDO	SECO	M/S	HUMEDO	AÑO	T>8		
San Bernardo	Tropustico Tipico	80	170	48	142	170	48	142	190	190	0	0
San Gaspar de Los Reyes	Tempustico Tipico	80	136	64	160	136	64	160	224	224	0	0
San Gregorio	Tropustico Tipico	80	81	58	221	81	58	221	267	267	0	20
San Juan de Los Potreros	Tropustico Tipico	80	99	84	177	99	84	177	255	255	0	0
San Marcos	Tropustico Aridico	70	159	39	162	159	39	162	186	186	0	0
San Miguel El Alto	Tropustico Tipico	80	156	41	163	156	41	163	204	204	0	0
Santa Maria de Los Angeles	Tempustico Tipico	80	108	78	174	108	78	174	252	252	0	0
Santa Rosa	Tropustico Aridico	80	224	19	117	224	19	117	136	136	0	0
Tacotan	Tropustico Tipico	80	108	57	195	108	57	195	248	248	0	28
Tala	Tropustico Tipico	90	141	55	164	141	55	164	207	207	0	0
Talpa de Allende	Tropustico Tipico	80	135	68	157	135	68	157	190	190	0	0
Tapalpa (Smn)	Tropustico Udico	80	63	37	260	63	37	260	286	286	0	65
Tecalitlan	Tropustico Aridico	80	153	49	158	153	49	158	184	184	0	0
Tecolotlan (Dge)	Tropustico Aridico	80	176	46	138	176	46	138	165	165	0	0
Tecolotlan (Smn)	Tropustico Aridico	80	176	47	137	176	47	137	163	163	0	0
Tecomates	Tropustico Aridico	80	183	26	151	183	26	151	167	167	0	0
Temastian	Tropustico Tipico	80	149	66	145	149	66	145	192	192	0	0
Tenamaxtlan	Tropustico Tipico	80	131	64	165	131	64	165	205	205	0	0
Tenasco	Tropustico Tipico	80	123	73	164	123	73	164	237	237	0	0
Tenzompa	Tropustico Tipico	80	78	37	245	78	37	245	282	282	0	45
Teocaltiche (Dge)	Tropustico Aridico	80	182	38	140	182	38	140	178	178	0	0
Teocuitatlan	Tropustico Aridico	70	214	27	119	214	27	119	143	143	0	0
Tequila	Tropustico Aridico	80	181	38	141	181	38	141	166	166	0	0
Tizapan El Alto (Dge)	Tropustico Aridico	70	132	65	163	132	65	163	208	208	0	0
Tlacuitapan	Tropustico Tipico	80	155	45	160	155	45	160	199	199	0	0
Tlajomulco De Zuñiga	Tropustico Tipico	80	155	50	155	155	50	155	192	192	0	0
Tlaquepaque	Tropustico Tipico	90	148	44	168	148	44	168	208	208	0	0
Tomatlan	Tropustico Aridico	90	221	31	108	221	31	108	119	119	15	0

Continua cuadro 5

ESTACIÓN	SUBDIVISIÓN	HUMEDAD (mm)	NUMERO DE DÍAS ACUMULADOS EN LA SECCIÓN DE CONTROL DE HUMEDAD						MAYOR NUMERO CONSECUTIVOS DE DIAS DONDE SCH ES			
			DURANTE UN AÑO			TEMPERATURA DEL SUELO MAYOR A 5°C			HUMEDO		SECO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE VERANO	HUMEDO DESPUÉS DEL SOLSTICIO DE INVIERNO
METEOROLOGICA	HIDROTERMICA	SCHS	SECO	M/S	HUMEDO	SECO	M/S	HUMEDO	AÑO	T>8		
Tonala	Tropustico Tipico	80	165	34	161	165	34	161	190	190	0	0
Totatiche	Tempustico Tipico	80	118	84	158	118	84	158	242	242	0	0
Tototlan	Tropustico Aridico	70	132	65	163	132	65	163	208	208	0	0
Totuate	Tempustico Tipico	80	227	30	103	227	30	103	113	113	10	0
Tuxcacuesco	Tropustico Aridico	80	196	32	132	196	32	132	160	160	0	0
Tuxcueca	Tropustico Aridico	70	155	47	158	155	47	158	192	192	0	0
Union de San Antonio	Tropustico Tipico	80	151	42	167	151	42	167	205	205	0	0
Union de Tula	Tropustico Tipico	80	167	35	158	167	35	158	190	190	0	0
Valle De Juarez (Smn)	Tropustico Tipico	80	146	45	169	146	45	169	205	205	0	0
Villa Guerrero	Tropustico Tipico	80	160	44	156	160	44	156	200	200	0	0
Villa Obregon	Tropustico Tipico	80	171	43	146	171	43	146	185	185	0	0
Villa Purificacion (Dge)	Tropustico Aridico	70	199	16	145	199	16	145	161	161	0	0
Yahualica de Gonzalez Gallo	Tropustico Tipico	80	152	52	156	152	52	156	204	204	0	0
Zacoalco de Torres	Aridico Ligero	70	236	42	82	236	42	82	89	89	8	0
Zapopan	Tropustico Tipico	90	153	40	167	153	40	167	207	207	0	0
Zapotlanejo (Smn)	Tropustico Tipico	80	170	36	154	170	36	154	186	186	0	0

**Cuadro 6. Humedad almacenada (mm) en la sección de control en tres texturas de suelos y temperatura (°C) del aire.**

ESTACIÓN METEOROLOGICA	HUMEDAD SCHS (mm)	DURANTE UN AÑO ES			REGIMEN	SUBDIVISIÓN	REGIMEN	TEMPERATURA (°C)		
		Arcillosos	SECO	M/S	HUMEDO	HUMEDAD	HIDROTERMICA	TEMPERATURA	VERANO	INVIERNO
Ahualulco de Mercado (Smn)	70	182	42	136	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.06	18.06	20.1
Ameca	70	187	35	138	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.90	18.93	21.5
Antonio Escobedo (Dge)	70	144	67	149	Ustico	Tempustico Tipico	Termico	22.36	15.56	19.4
Antonio Escobedo (Smn)	70	147	55	158	Ustico	Tempustico Tipico	Termico	22.26	15.26	19.3
Atequiza	70	180	33	147	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.86	17.76	20.3
Atoyac	70	191	34	135	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.43	19.6	21.6
Chapala	70	180	26	154	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.40	18.6	20.5
El Fuerte	70	185	33	142	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.86	17.66	20.2
El Salitre	70	196	27	137	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.60	17.56	20.5
El Tule	70	148	46	166	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	18.03	13.90	16.4
Etzatlan (Dge)	70	145	58	157	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.00	17.36	20.2
Huerta Vieja	70	142	54	164	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	19.73	15.90	18.4
Jamay	70	176	38	146	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	20.43	16.40	18.9
Jesus Maria	70	147	46	167	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	17.66	14.70	16.7
Jocotepec	70	137	60	163	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	19.90	16.76	19.0
La Barca	70	163	38	159	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.70	17.60	20.1
La Red	70	160	36	164	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	19.90	15.80	18.4
Llano Grande	70	201	29	130	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	26.16	22.73	25.1
Mezcala	70	161	43	156	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	24.40	17.76	20.2
Palo Verde	70	174	30	156	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	19.13	16.06	18.2
Piedra Barrenada	70	174	33	153	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.06	19.93	21.5
Poncitlan	70	174	43	143	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	20.93	16.86	19.4
Presa Calderon	70	169	33	158	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.33	17.06	19.7
Presa El Volantin	70	155	38	167	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	18.70	15.23	17.4
Presa La Duquesa	70	174	50	136	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	20.23	15.30	18.2
Presa Santa Rosa (Cfe)	70	201	40	119	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	25.93	22.10	24.8
Quitupan	70	154	49	157	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.90	18.16	20.5
San Marcos	70	159	39	162	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.90	20.60	22.3

Continua cuadro 6

ESTACIÓN METEOROLOGICA	HUMEDAD SCHS (mm) ARCILLOSOS	DURANTE UN AÑO ES			REGIMEN	SUBDIVISIÓN	REGIMEN	TEMPERATURA		
		SECO	M/S	HUMEDO	HUMEDAD	HIDROTERMICA	TEMPERATURA	VERANO	INVIERNO	ANUAL
Teocuitatlan	70	214	27	119	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.13	20.06	21.5
Tizapan El Alto (Dge)	70	132	65	163	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.03	17.76	20.0
Tototlan	70	132	65	163	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	19.50	14.63	19.4
Tuxcueca	70	155	47	158	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.36	17.40	19.9
Villa Purificacion	70	199	16	145	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	26.33	22.86	24.9
Zacoalco de Torres	70	236	42	82	Aridico	Aridico Ligero	Isohipertermico	22.63	19.03	21.3
Acatlan de Juarez	80	185	32	143	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.43	17.63	20.5
Ahuetita	80	85	60	215	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.83	13.36	18.3
Ajojuacar	80	156	50	154	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.06	14.26	17.5
Amacueca	80	203	40	117	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.60	19.06	20.8
Apazulco	80	204	46	110	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	28.20	23.23	25.9
Apozol	80	162	38	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.63	16.63	19.1
Atemajac de Brizuela	80	70	39	251	Ustico	Tropustico Udico	Isotermico	17.00	14.30	16.1
Atenguillo	80	156	38	166	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.76	17.93	20.4
Atotonilco El Alto	80	120	68	172	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.16	17.23	19.6
Autlan	80	171	60	129	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	24.93	20.03	22.9
Bocas	80	182	62	116	Ustico	Tropustico Tipico	Hipertermico	23.43	16.43	20.5
Bolaños	80	241	39	80	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	26.33	21.46	24.6
Cajon De Peña	80	193	28	139	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	27.53	23.06	25.7
Calera	80	209	50	101	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	19.36	14.93	17.7
Casa Llanta	80	174	41	145	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	21.40	16.23	19.5
Casimiro Castillo	80	202	16	142	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	28.73	26.30	28.1

Continúa cuadro 6

ESTACIÓN METEOROLOGICA	HUMEDAD SCHS (mm)	DURANTE UN AÑO ES			REGIMEN	SUBDIVISIÓN	REGIMEN	TEMPERATURA		
		FRANCOS	SECO	M/S	HUMEDO	HUMEDAD	HIDROTERMICA	TEMPERATURA	VERANO	INVIERNO
Casimiro Castillo	80	202	16	142	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	28.73	26.30	28.1
Colotlan (Dge)	80	150	75	135	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.63	15.63	18.5
Comanja de Corona	80	98	84	178	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.96	12.90	15.8
Concepcion de Buenos Aires	80	95	79	186	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.10	14.86	16.3
Contla	80	159	36	165	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	23.76	19.83	22.3
Corrinchis	80	127	59	174	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	21.00	15.73	18.8
Cuautitlan	80	196	21	143	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	29.43	25.93	28.2
Cuitzmala	80	243	52	65	Aridico	Aridico Tipico	Isohipertermico	27.56	22.53	25.5
Cuixtla	80	204	33	123	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	26.26	22.00	24.8
Cuquio	80	137	53	170	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.93	14.80	17.9
Ejutla	80	172	34	154	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.93	21.40	23.3
El Chante	80	170	42	148	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.80	19.43	21.9
El Guayabo	80	217	36	107	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	27.73	24.40	26.6
El Nogal	80	85	60	215	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.83	13.36	16.0
El Pinito	80	127	82	151	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	21.23	14.76	18.5
El Puesto	80	193	43	124	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.80	19.10	21.5
El Rodeo	80	112	59	189	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.63	15.86	18.1
El Rosario	80	222	46	92	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	26.33	22.80	25.0
El Zapote	80	174	45	141	Ustico	Tropustico Tipico	Hipertermico	22.63	15.73	19.7
Encarnacion de Diaz	80	130	66	164	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.46	14.56	17.6
Guachinango (Smn)	80	134	60	166	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	21.93	16.53	19.5
Higuera Blanca	80	236	42	82	Aridico	Aridico Tipico	Isohipertermico	28.36	23.06	25.8
Hostotipaquillo	80	184	30	146	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	22.60	20.73	21.9
Huascato	80	168	43	149	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.76	17.46	20.2
Huejucar (Obs)	80	141	74	145	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	20.70	14.33	17.9
Huejuquilla El Alto (Dge)	80	170	48	142	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	19.23	17.76	16.6
Ingenio Tamazula	80	153	44	163	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	23.33	19.46	21.8
Ixtlahuacan de Santiago	80	191	28	141	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	21.73	19.20	20.6
Ixtlahuacan del Rio	80	132	55	173	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	18.20	15.43	17.2

Continúa cuadro 6

ESTACIÓN METEOROLOGICA	HUMEDAD SCHS (mm) FRANCOS	DURANTE UN AÑO ES			REGIMEN	SUBDIVISIÓN	REGIMEN	TEMPERATURA		
		SECO	M/S	HUMEDO	HUMEDAD	HIDROTERMICA	TEMPERATURA	VERANO	INVIERNO	ANUAL
Jalostotitlan	80	162	41	157	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.03	14.96	23.5
Jilotlan	80	154	47	159	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	23.06	18.76	21.5
Juchitlan	80	149	55	156	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.16	17.43	20.3
La Cuña	80	165	47	148	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.86	17.03	19.9
La Desembocada	80	199	41	120	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	28.46	23.00	26.1
La Huerta	80	204	24	132	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	27.00	23.03	25.4
La Manzanilla de La Paz	80	126	64	170	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	20.83	17.43	19.6
La Saucedá	80	146	52	162	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	18.70	14.70	17.5
La Vaquera	80	147	45	168	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.86	14.66	16.8
La Vega	80	186	33	141	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.76	18.43	21.5
La Yerbabuena	80	162	38	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.23	18.03	20.2
Lagos de Moreno (Dge)	80	150	52	158	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.83	14.63	17.6
Los Olivos	80	228	41	91	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	27.43	25.56	27.1
Magdalena	80	176	45	139	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	2.3.43	18.03	21.1
Manantlan	80	108	46	206	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.16	16.2	18.7
Mascota (Smn)	80	146	54	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.66	17.43	20.4
Mazamitla	80	87	57	216	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	16.63	14.60	16.2
Mexticacan	80	122	75	163	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.80	14.80	17.8
Michoacanejo	80	170	44	146	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	18.93	14.60	17.1
Mixtlan	80	148	44	168	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.06	16.63	18.8
Ojuelos de Jalisco (Dge)	80	113	73	174	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.33	12.73	15.5
Paso del Cuarenta li	80	163	43	154	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.96	14.63	17.6
Paso del Sabino	80	157	57	146	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	20.60	13.90	17.6
Pihuamo	80	101	45	214	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.53	18.83	21.4
Plan de Barrancas	80	201	33	126	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	25.56	21.06	24.0
Presa Achimec	80	129	73	158	Ustico	Tropustico Aridico	Termico	20.66	14.63	18.1
Presa Basilio Vadillo	80	198	37	125	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	25.56	22.10	24.4
Presa Hurtado	80	145	55	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	21.46	16.33	19.4
Puente Arcediano (Cfe)	80	184	41	135	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	25.06	21.60	24.0

Continua cuadro 6

ESTACIÓN METEOROLOGICA	HUMEDAD SCHS (mm)	DURANTE UN AÑO ES			REGIMEN	SUBDIVISIÓN	REGIMEN	TEMPERATURA		
		FRANCOS	SECO	M/S	HUMEDO	HUMEDAD	HIDROTERMICA	TEMPERATURA	VERANO	INVIERNO
San Bernardo	80	170	48	142	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.26	14.73	17.9
San Diego De Alejandria	80	155	42	163	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.03	15.76	17.9
San Gaspar De Los Reyes	80	136	64	160	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	21.03	14.43	18.1
San Gregorio	80	81	58	221	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.93	12.76	15.6
San Juan de Los Potreros	80	99	84	177	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	17.26	13.6	16.0
San Miguel El Alto	80	156	41	163	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.50	15.10	17.7
Sta. Maria de Los Angeles	80	108	78	174	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	20.43	14.33	18.0
Santa Rosa	80	224	19	117	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	27.46	23.83	26.3
Tacotan	80	108	57	195	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.00	17.63	20.4
Talpa de Allende	80	135	68	157	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	23.06	17.50	20.6
Tapalpa (Smn)	80	63	37	260	Ustico	Tropustico Udico	Isotermico	17.30	13.86	16.0
Tecalitlan	80	153	49	158	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.53	19.23	21.9
Tecolotlan (Dge)	80	176	46	138	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.60	19.50	22.1
Tecolotlan (Smn)	80	176	47	137	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	24.00	19.83	22.5
Tecomates	80	183	26	151	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	26.30	23.40	25.4
Temastian	80	149	66	145	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.83	14.93	17.9
Tenamaxtlan	80	131	64	165	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.03	17.76	20.5
Tenasco	80	123	73	164	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.46	14.73	17.6
Tenzompa	80	78	37	245	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	19.73	12.73	16.6
Teocaltiche (Dge)	80	182	38	140	Ustico	Tropustico Aridico	Isotermico	20.30	14.63	17.8
Tequila	80	181	38	141	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	23.60	19.73	22.2
Tlacuitapan	80	155	45	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	18.80	14.76	17.2
Tlajomulco De Zuñiga	80	155	50	155	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	21.23	16.50	19.3
Tonala	80	165	34	161	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	20.50	18.36	19.8
Totatiche	80	118	84	158	Ustico	Tropustico Tipico	Termico	21.10	14.93	18.4
Totuate	80	227	30	103	Ustico	Tropustico Tipico	Hipertermico	23.60	17.43	21.1
Tuxcacuesco	80	196	32	132	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	25.06	19.90	22.6
Union De San Antonio	80	151	42	167	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.23	16.03	18.1

Continúa cuadro 6

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	HUMEDAD SCHS (mm)	DURANTE UN AÑO ES			REGIMEN	SUBDIVISIÓN	REGIMEN	TEMPERATURA		
		FRANCOS	SECO	M/S				HUMEDO	HUMEDAD	HIDROTERMICA
Union de Tula	80	167	35	158	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.66	17.70	20.7
Valle de Juarez (Smn)	80	146	45	169	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	18.76	16.20	18.1
Villa Guerrero	80	160	44	156	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	20.23	15.56	18.4
Villa Obregon	80	171	43	146	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.33	17.13	19.7
Yahualica de Glez. Gallo	80	152	52	156	Ustico	Tropustico Tipico	Isotermico	19.90	14.50	17.6
Zapotlanejo (Smn)	80	170	36	154	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.73	17.93	20.3
Canoas	90	263	39	58	Ustico	Aridico Tipico	Isohipertermico	26.6	22.43	24.9
Cihuatlan (Dge)	90	214	25	121	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	28.7	25.0	27.0
El Chiflon	90	189	26	145	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	27.33	23.8	26.1
El Cuale	90	150	50	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	25.63	19.46	22.7
El Tuito	90	141	50	169	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	24.66	19.36	22.3
Guadalajara (Dge)	90	157	39	164	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.8	19.0	21.0
Guadalajara (Smn)	90	146	51	163	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.93	19.13	21.3
La Experiencia	90	159	38	163	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.2	18.63	21.0
Quito	90	149	51	160	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	23.66	18.73	21.5
Tala	90	141	55	164	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.63	18.1	20.8
Tlaquepaque	90	148	44	168	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	22.23	18.63	21.0
Tomatlan	90	221	31	108	Ustico	Tropustico Aridico	Isohipertermico	28.9	23.36	26.3
Zapopan	90	153	40	167	Ustico	Tropustico Tipico	Isohipertermico	21.83	18.36	20.6

## Superficie de unidades de suelos y grupos texturales en el Estado de Jalisco

Como resultado del proceso de elaboración de la cartografía temática, se obtuvieron las superficies de 16 unidades y 27 subunidades de suelos (FAO/INEGI, 1973), distribuidos en el estado de Jalisco.

**Cuadro 7. Unidades y subunidades de suelos, superficie y porcentaje en Jalisco.**  
(Nomenclatura FAO/INEGI, 1973)

Unidad de Suelos	Subunidad de Suelos	Subunidad Superficie (km <sup>2</sup> )	Unidad Superficie (km <sup>2</sup> )	Superficie (%) Subunidad / Unidad	
Acrisol	férrico	61.85	363.87	0.08	0.45
	órtico	302.02		0.38	
Andosol	húmico	166.45	575.76	0.21	0.72
	mólico	261.33		0.33	
	ócrico	143.09		0.18	
	vítrico	4.90		0.01	
Cambisol	calcíco	12.22	6,967.58	0.02	8.68
	crómico	3,924.12		4.89	
	éutrico	2,796.22		3.49	
	ferrálico	209.27		0.26	
	húmico	14.01		0.02	
	vértico	11.73		0.01	
Castañozem	háplico	4.59	377.68	0.01	0.47
	calcíco	97.02		0.12	
	lúvico	276.08		0.34	
Chernozem	háplico	194.50	194.50	0.24	0.24
Feozem	calcárico	166.28	22,007.43	0.21	27.43
	háplico	21,267.20		26.51	
	lúvico	573.96		0.72	
Fluvisol	calcárico	20.04	29.82	0.02	0.04
	eutricos	9.78		0.01	
Gleysol	eutricos	5.85	5.85	0.01	0.01
Litosol	-	3,943.25	3,943.25	4.92	4.92
Luvisol	crómico	3,345.71	9,504.82	4.17	11.85
	férrico	4,218.96		5.26	
	órtico	378.99		0.47	
	vértico	1,561.17		1.95	
Planosol	eutricos	5,008.49	5,385.85	6.24	6.71
	mólico	377.36		0.47	
Regosol	calcárico	636.86	22,350.25	0.79	27.86
	dástrico	3,162.56		3.94	
	eutricos	18,550.83		23.12	
Rendzina	-	139.76	139.76	0.17	0.17
Solonchak	gléyico	174.30	345.54	0.22	0.43
	órtico	171.24		0.21	
Vertisol	crómico	616.83	5,085.28	0.77	6.34
	pélico	4,468.45		5.57	
Xerosol	háplico	1,198.84	1,810.89	1.49	2.26
	lúvico	612.05		0.76	
Cuerpos agua, presas, poblaciones		1,139.88	1,139.88	1.42	1.42
<b>Total</b>		<b>80,228.00</b>	80,228.00	100.00	100.00

De la misma forma se obtuvo información referente a las texturas de suelos, distribuidas en Jalisco, considerando las texturas arcillosa, franca y arenosa, con el fin de determinar con mayor exactitud, las variaciones de los regímenes hidrotérmicos en el Estado. En el Cuadro 8 se muestran texturas y superficies de suelos:

**Cuadro 8. Texturas de suelos en el estado de Jalisco.**

<b>Textura del Suelo</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Arcillosa o Fina	16,282.44	20.30
Franca o media	56,784.00	70.78
Arenosa o gruesa	6,021.69	7.51
otros*	<u>1,139.88</u>	<u>1.42</u>
<b>Total</b>	<b>80,228.00</b>	100.00

\* Cuerpos de agua, represas, poblaciones

### **Superficies Agrícolas por grupos texturales**

Una vez delimitadas las áreas de suelos dedicadas a las actividades agropecuarias, se procedió a identificar y delimitar dentro de éstas, las diferentes texturas de suelos y en consecuencia, se obtuvo el siguiente cuadro:

**Cuadro 9. Superficies Agrícolas por textura en Jalisco.**

<b>Tipos de Textura con Uso Agrícola</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Arcillosa o Fina	6,530.60	32.57
Franca o media	11,692.85	58.31
Arenosa o gruesa	<u>1,829.30</u>	<u>9.12</u>
<b>Total</b>	<b>20,052.75</b>	100.00

### **Superficies por regímenes hidrotérmicos**

Con el apoyo del sistema de información geográfica Quantum Dofour, empleando las bases de datos y la cartografía generada para las texturas de suelos, así como la base de datos y la cartografía de las áreas agrícolas del estado de Jalisco, se realizó sobreposición de unidades cartográficas y el cruce de información para integrar las unidades cartográficas de los regímenes hidrotérmicos, con lo que se obtuvo la carta de regímenes de humedad y

temperatura de los suelos del estado de Jalisco, de cuya base de datos se obtiene el siguiente cuadro:

**Cuadro 10. Superficies de regímenes de humedad y temperatura de los suelos en Jalisco.**

<b>Régimen Hidrotérmico</b>	<b>Superficie en (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Arídico Ligero	200.52	0.99
Arídico Típico	272.00	1.34
Tropústico Arídico	8,340.33	41.18
Tropustico Típico	9,763.82	48.21
Tropústico Údico	267.87	1.32
Tempústico Típico	734.23	3.63
Tempúdico Seco	22.33	0.11
Ácuico	652.46	3.22
<b>Total</b>	<b>20,253.56</b>	<b>100.00</b>

### **Cartografía temática**

La cartografía temática generada, se editó a escala 1:850,000, con la finalidad de proporcionar un formato adecuado a la información y unidades cartográficas creadas, así como a la facilidad del manejo de las cartas o mapas impresos. Se editaron cuatro mapas con los siguientes temas:

- A). Textura del suelo y estaciones meteorológicas,
- B). Unidades de suelos FAO/UNESCO, 1973.
- C). Texturas de suelos y zonas agrícolas.
- D). Regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco.

Este último mapa, el de mayor importancia para el trabajo, ya que representa los regímenes de humedad y temperatura estimados para cada una de las 150 estaciones meteorológicas en Jalisco y la distribución de éstos, así como las superficies de cada régimen y su representación relativa. La estimación de regímenes hidrotérmicos se realizó con el modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010), calibrado por niveles de humedad, conforme al avance de humedad y temperatura en los suelos de tres lotes experimentales; estos suelos representan texturas arcillosas, francas y arenosas de los suelos distribuidos en el estado de Jalisco, México.

**A). Mapa de texturas de suelos y estaciones meteorológicas.**

**B). Mapa de unidades de suelos (FAO/UNESCO, 1973).**

**C). Mapa de texturas de suelos y uso agrícola.**

**D). Mapa de regímenes de humedad y temperatura de suelos.**

## CONCLUSIONES

Se obtuvieron ocho regímenes de humedad y temperatura del suelo identificados como: Arídico Típico; Arídico Ligero; Tropustico Arídico; Tropustico Típico; Tempustico Típico; Tropustico Udico; Tempudico Seco y Acuico. El régimen Tropústico Típico es el de mayor superficie en el Estado con 9,763.82 km<sup>2</sup> y le sigue el régimen Tropústico Arídico con 8,340.33 km<sup>2</sup>, que en conjunto cubren el 89.39 % de la superficie agrícola estatal (20,253.56 km<sup>2</sup>). La carta de regímenes hidrotérmicos muestra que el Tropústico Típico se distribuye al Norte, Altos, Centro y Sur de Jalisco; mientras que el Tropústico Arídico se distribuye al Centro y vertiente costera del Estado.

En el régimen Aridico Típico, el más seco del Estado cuenta con un rango de 58 días a 132 días húmedos. El régimen hidrotérmico Arídico Ligero lo representa la estación de Zacoalco de Torres, con 89 días húmedos. Para el régimen hidrotérmico Tropustico Arídico, el rango es de 80 a 158 días húmedos; mientras que para el Tropústico Típico, el rango de días es de 146 a 221 días húmedos; en el caso del régimen Tropústico Udico, el rango de humedad es de 250 a 260 días húmedos. En resumen se aprecia que en el 98.00 % de la superficie agrícola (19,781.04 km<sup>2</sup>) de Jalisco, se cuenta con más de 120 días disponibles con humedad; si consideramos los regimens Tropústico Típico y Tropústico Udico con superficie de 10,765.92 km<sup>2</sup>, representan el 53.15 % de la superficie agrícola del Estado, cuentan con un rango de días húmedos de 146 a 260 días, suficientes para producir una cosecha de maíz de temporal con buen rendimiento.

Los regímenes Tempúdico seco y Acuico, se presentan como regímenes extremos (El más frío y el de condición inundable y salino-sódico), no aptos a la agricultura. Los regímenes más secos son el Arídico Típico y Arídico Ligero que cubren una superficie de 472.52 km<sup>2</sup> (2.33%) y pueden satisfacer las necesidades de humedad con riego.

La carta de suelos, muestra la distribución de las unidades de suelos, siendo predominantes los Regosoles con 27.86%; los Faeozem con 27.43%; y los Luvisoles con 11.85%, le siguen Cambisoles con 8.68% y Planosoles con 6.71% y Vertisoles con 6.34%, que en conjunto representan el 88.87% de los suelos del Estado. La carta de texturas y uso agrícola, muestra que la texturas arcillosas se distribuyen en la región Centro del Estado, las texturas arenosas en las regiones Centro (Caldera de La Primavera) y Sur del Estado (Volcán y Nevado de Colima); las texturas francas se distribuyen por todo el estado de Jalisco.

## LITERATURA CONSULTADA

- Barrera, R. R. O. y Zaragoza, V. F. 1999. Las estructuras del relieve del estado de Jalisco. Ed. deVinCi. Coord. Gral. Ext. Universidad de Guadalajara. Jalisco, México.
- Chuvieco, S. E. 2008. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. 3ª ed. Ed. Ariel, S. A. Barcelona, España.
- FAO/UNESCO. 1973. Definición de la unidades de suelos para el mapa de suelos del mundo. Boletín 33. Trad. SRH. México.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 2ª ed. Inst. Geog. UNAM. México.
- IITEJ. 2011. Curvas de nivel del estado de Jalisco. SITEL-INEGI. Esc. 1:250,000. Jalisco, México.
- INEGI 2013. Modelo digital de elevación de la república Mexicana. LIDAR. Pagina oficial Portal Inegi. México.
- Newhall, F. 1972. Calculation of soil moisture regimes from the climatic records. Soil Cons. Serv. USDA. Revision 4. Washington, D. C. USA.
- Newhall, F. 2010. Calculation of soil moisture regimes from the climatic records. Soil Cons. Serv. USDA. Version 1.6. Washington, D. C. USA.
- Odum, E. P. 1983. Ecología. Serie Biología Moderna. 5ª Imp. CECSA. México.
- Ortiz-Solorio, C. A. y Cuanalo, De la C. H. 1978. Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras. Rama de Suelos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Quantum. QGIS 2.0.1-Dufour. Licencia Pública General GNU. Página web Quantum Gis <http://qgis.org/es/site/>.
- Ruiz-Corral, J. A., I. J. González, A., J. Anguiano, C., I. Vizcaíno, V., D. Ibarra, C., J. Alcalá, G., S. Espinoza, V. y H. E. Flores, L. 2012. Estadísticas climatológicas básicas para el estado de Jalisco (Periodo 1981-2010). Libro Técnico No 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jalisco. México.
- SAGARPA 2011. Uso tecnológico y de servicios en la superficie agrícola. Oeirus Jalisco, oeirusweb@jal.sagarpa.gob.mx. México.
- SITEL. 2011. Superficie agrícola del estado de Jalisco. <http://sitel.jalisco.gob.mx/cgi-bin/mapageneral-wfs>. Jalisco, México.

- SITEL. 2014. Datos vectoriales y modelo de elevación del estado de Jalisco.  
<http://sitel.jalisco.gob.mx/cgi-bin/mapageneral-wfs>. Jalisco, México.
- Tamayo, J. L. 1981. Geografía moderna de México. 9ª ed. Ed. TRILLAS. México.
- Topete-Angel, J. P. 2005. Regímenes de humedad y temperatura de los suelos del estado de Jalisco. Universidad de Guadalajara. Jalisco. México.
- Villalpando, F. y García, E. 1993. Agroclimatología del estado de Jalisco. CUCBA. Universidad de Guadalajara. Jalisco. México.
- USDA. 2006. Claves para la Taxonomía de Suelos. Soil Survey Staff. 10ª Ed. Trad. Carlos A. Ortiz-Solorio y María del Carmen Gutiérrez-Castorena. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. México.

## **9. DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS**

### **9.1 Sobre el modelo de Newhall, 2010**

Aunque el modelo de simulación de Newhall (V.1.6. 2010) se puede aplicar en forma rápida y sencilla con el empleo de datos meteorológicos de precipitación (mm) y temperatura (°C), no siempre se obtienen resultados ajustados a una condición climática real, especialmente en cuanto al clima del suelo; como se aprecia en el Cuadro 8 del capítulo cinco, en el que el modelo de simulación sobreestima los valores reales de humedad del suelo. El caso del Lote 1 CUCBA, es una excepción en que se subestima la humedad del suelo debido a la presencia de pómez, lo que permite a la SCHS mantenerse húmeda por un periodo más largo (325 días); esta condición permite que se realice una agricultura de humedad residual, que normalmente inicia a principios de mayo; por lo que en esta zona agrícola se adelanta el cultivo de maíz al menos en 30 días.

El modelo de simulación de Newhall, sobreestima la disponibilidad de humedad de los suelos de la región Centro de Jalisco, especialmente en suelos arcillosos de color gris muy oscuro; en principio se estima que el rango del espesor de la SCHS establecida por la Taxonomía de Suelos (2006), no es correcta, ya que en el periodo de estiaje (mayo) se verificó el contenido de humedad de estos suelos y aunque la SCHS estaba totalmente seca, desde los 50 cm hasta los 100 cm de profundidad, el contenido de humedad es considerable (se determinó el índice de plasticidad sin requerir adicionar agua a la muestra).

### **9.2 Sobre la calibración del modelo de simulación**

Originalmente se permitía el uso del modelo de simulación de Newhall (1972), pero debido a que estaba encriptado, no era posible modificarlo o manipularlo para efectos de ajuste y como protección de la patente; a partir del año 2010 el mismo modelo pero en la versión 1.6 de Java, permite la manipulación de los contenidos de humedad en la SCHS; por lo que se calibró el modelo de simulación para el caso de los suelos localizados en los lotes experimentales establecidos para este trabajo, permitiendo manejar láminas de humedad almacenada cuya respuesta del modelo fuera muy similar a los contenidos de humedad monitoreados en los tres suelos tipo, resultando una lámina de humedad almacenada de 70 mm para suelos arcillosos; 80 mm para suelos francos; 90 mm para suelos arenosos y 200 mm para suelos francos con presencia de pómez del valle de Zapopan, Jalisco (campo experimental CUCBA).

### **9.3 Sobre la aplicabilidad del método en la región centro de Jalisco**

El modelo de simulación de Newhall (V.1.6. 2010), se considera de uso universal, debido a las características que lo conforman, como se explica en el capítulo 2.6; sin embargo tiene limitantes puesto que emplea pocas variables del suelo y clima. Independientemente de las limitaciones del modelo, su manejo es sencillo y solo requiere datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) medias mensuales; el modelo estima la evapotranspiración potencial y realiza el balance hidrotérmico para cada estación meteorológica, no obstante el modelo tiende a sobreestimar la humedad disponible en el suelo (Topete-Angel, 2005. Jarauta, 2006), por lo que se debe realizar un ajuste al modelo, especialmente en suelos arcillosos oscuros, como se demostró en los suelos del lote experimental dos en el rancho Cofradía.

Quizá la ventaja más importante del modelo de simulación, que la versión 1.6 permite proponer la lamina de humedad almacenada, pudiendo lograr un alto porcentaje de ajuste del modelo a las condiciones reales de los suelos agrícolas de la región agrícola de que se trate.

### **9.4 Sobre la aplicabilidad del método para clasificación de suelos**

Aquí se demuestra que el criterio de la Taxonomía de Suelos (2006) respecto del espesor y profundidad de la SCHS, no se ajusta para los suelos arcillosos, en los que establece en forma generalizada que la SCHS se encuentra entre los 10 y 30 cm de profundidad; debe definirse un nuevo criterio, ya que en los suelos arcillosos del rancho Cofradía, en el mes de mayo del 2010 (periodo de estiaje) se hicieron pozos agrológicos, con el fin de verificar la humedad del suelo y caracterizar el perfil del mismo. Se encontró que por debajo de la SCHS, la humedad del suelo se encontraba aproximadamente al 14% y más allá de los 70 cm de profundidad se encontró con un 40 % de humedad aproximadamente, mientras que la SCHS estaba a un 2.36% de humedad; la SCHS se encontraba en el punto de marchites permanente (PMP) y el fondo del perfil de suelo (60-100 cm) se encontraba en el tercio inferior de la capacidad de campo (CC).

Una de las ventajas del modelo de simulación de Newhall (V.1.6. 2010), es el hecho de utilizar las subdivisiones propuestas por el método, ya que los regímenes de humedad y temperatura de la Taxonomía de Suelos (2006) están limitados a cinco regímenes. Con el uso de las subdivisiones tentativas, se pueden obtener regímenes hidrotérmicos con diferencias claras entre estas subdivisiones, lo que no permiten las divisiones de los regímenes señalados por la Taxonomía de Suelos; tal es el caso de la definición de regímenes de humedad y temperatura

de los suelos del Estado de Jalisco (Topete-Angel, 2005) y los regímenes definidos en este trabajo.

## **10. CONCLUSIONES**

### **10.1 Acerca de la hipótesis**

La hipótesis propuesta se rechaza, ya que el modelo de simulación de Newhall (2010) sobreestima los contenidos de humedad en el suelo, para los suelos arcillosos del Rancho Cofradía y para los arenosos del Rancho Los Agaves, mientras que para los suelos francos del Campo Experimental del CUCBA subestima la humedad del suelo, debido al alto contenido de pómez, éstos mantienen más días con humedad que los estimados por el modelo aplicado.

### **10.2 Acerca de los objetivos**

Respecto de los objetivos se concluye que han sido cumplidos con los resultados del trabajo desarrollado, ya que se calibraron, clasificaron y cartografiaron los regímenes de humedad y temperatura del suelo de dos valles agrícolas del centro de Jalisco; se pudo probar la bondad de ajuste del modelo de simulación de Newhall, mediante la calibración de niveles de humedad y se propone el uso de tres niveles de humedad en la SCHS, para ajustar el modelo a diferentes texturas del suelo en los diferentes valles agrícolas del estado de Jalisco.

### **10.3 Sobre los criterios de la Taxonomía de Suelos**

Es importante señalar que los criterios de la Taxonomía de Suelos, acerca de los regímenes de humedad deben ser modificados, ya que F. Newhall en principio sugiere una subdivisión de éstos; con ello se abatirían las contradicciones que se observaron en este trabajo, especialmente en lo concerniente a la sección de control de humedad del suelo (SCHS), ya que para el caso de campo experimental de Cofradía, con suelos arcillosos, el criterio de la SCHS (10-30 cm) está muy restringido ya que las raíces y la humedad del perfil de suelo se mantienen por debajo de ésta, aún después de haberse secado la SCHS.

### **10.4 Del modelo de simulación de Newhall**

Se manifiestan diferencias claras entre los resultados del régimen de humedad del suelo obtenido a partir del modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010) y el régimen de humedad determinado con los datos de campo observados; este aspecto limita el uso generalizado del modelo.

El modelo de Newhall estima el régimen de humedad del suelo como Ustico, con subdivisión tentativa Tropústico Udico en general para los tres sitios experimentales, si bien los valles mantienen un clima semejante, los suelos son de texturas contrastantes, por lo que con los datos de campo no se mantiene el régimen de humedad señalado, con la subdivisión tentativa propuesta por el modelo. Una vez calibrado el modelo de simulación, el régimen de humedad resultante es:

Campo CUCBA, suelo franco/ pómez	Tropústico Típico	El más húmedo
Rancho Los Agaves, suelo arenoso	Tropústico Típico	Húmedo medio
Suelos francos de valles agrícolas	Tropústico Típico	Húmedo medio
Rancho Cofradía, suelo arcilloso	Tropústico Típico	El menos húmedo

Debido a que presentan menos días con humedad disponible, baja una categoría el régimen hidrotérmico; por lo que el modelo sobreestima la disponibilidad de agua en el suelo, ya que aparentemente pueden realizarse segundos cultivos sin necesidad de riego, cuando en realidad en el ciclo Otoño-Invierno la disponibilidad de humedad se restringe hasta en 45 días respecto del cálculo de Newhall.

Conforme a las condiciones climáticas de estos valles del centro del estado y al régimen de humedad estimado, no existe problema alguno para la cartera de cultivos del ciclo Primavera-Verano, ya que es la época de mayor temperatura y época de lluvias, cuyas características como cantidad, distribución y persistencia, favorecen la SCHS ya que en general se encuentra húmeda en todas sus partes; por ello es recomendable por ejemplo maíz de ciclo intermedio (130-150 días), mientras que la humedad residual después de este ciclo, se deberá emplear en cultivos de ciclo corto o forrajes, o en su caso, aprovechar esta humedad para incorporación de esquilmos, abonos verdes u orgánicos, con el fin de mantener alta la fertilidad nativa del suelo.

### **10.5 Sobre el manejo del suelo**

Una de las características notorias sobre el manejo de los suelos en los tres sitios experimentales, es la falta de materia orgánica, que afecta tanto la modificación de la estructura del suelo, como de la infiltración del agua en el perfil y por ende la disponibilidad de humedad en la SCHS. La superficie del suelo debe mantener una condición tal, que permita

la máxima infiltración de agua en el suelo y abatir la evaporación; además de controlar la superficie del suelo con agregados estables que disminuyan la susceptibilidad del suelo a la erosión.

Los suelos de los tres sitios experimentales tienen la capacidad para producir buenas cosechas en el periodo Primavera-Verano, debido a la disponibilidad de temperatura y humedad en el suelo; independientemente de su textura, por la cantidad de agua llovida en ese periodo y solamente los suelos Ustarent háplicos del valle de Zapopan cuentan con humedad disponible en el ciclo Otoño-Invierno, debido al gran contenido de pómez que le imprime una particularidad como suelos de humedad residual.

## **9. DISCUSIÓN GENERAL DE RESULTADOS**

### **9.1 Sobre el modelo de Newhall, 2010**

Aunque el modelo de simulación de Newhall (V.1.6. 2010) se puede aplicar en forma rápida y sencilla con el empleo de datos meteorológicos de precipitación (mm) y temperatura (°C), no siempre se obtienen resultados ajustados a una condición climática real, especialmente en cuanto al clima del suelo; como se aprecia en el Cuadro 8 del capítulo cinco, en el que el modelo de simulación sobreestima los valores reales de humedad del suelo. El caso del Lote 1 CUCBA, es una excepción en que se subestima la humedad del suelo debido a la presencia de pómez, lo que permite a la SCHS mantenerse húmeda por un periodo más largo (325 días); esta condición permite que se realice una agricultura de humedad residual, que normalmente inicia a principios de mayo; por lo que en esta zona agrícola se adelanta el cultivo de maíz al menos en 30 días.

El modelo de simulación de Newhall, sobreestima la disponibilidad de humedad de los suelos de la región Centro de Jalisco, especialmente en suelos arcillosos de color gris muy oscuro; en principio se estima que el rango del espesor de la SCHS establecida por la Taxonomía de Suelos (2006), no es correcta, ya que en el periodo de estiaje (mayo) se verificó el contenido de humedad de estos suelos y aunque la SCHS estaba totalmente seca, desde los 50 cm hasta los 100 cm de profundidad, el contenido de humedad es considerable (se determinó el índice de plasticidad sin requerir adicionar agua a la muestra).

### **9.2 Sobre la calibración del modelo de simulación**

Originalmente se permitía el uso del modelo de simulación de Newhall (1972), pero debido a que estaba encriptado, no era posible modificarlo o manipularlo para efectos de ajuste y como protección de la patente; a partir del año 2010 el mismo modelo pero en la versión 1.6 de Java, permite la manipulación de los contenidos de humedad en la SCHS; por lo que se calibró el modelo de simulación para el caso de los suelos localizados en los lotes experimentales establecidos para este trabajo, permitiendo manejar láminas de humedad almacenada cuya respuesta del modelo fuera muy similar a los contenidos de humedad monitoreados en los tres suelos tipo, resultando una lámina de humedad almacenada de 70 mm para suelos arcillosos; 80 mm para suelos francos; 90 mm para suelos arenosos y 200 mm para suelos francos con presencia de pómez del valle de Zapopan, Jalisco (campo experimental CUCBA).

### **9.3 Sobre la aplicabilidad del método en la región centro de Jalisco**

El modelo de simulación de Newhall (V.1.6. 2010), se considera de uso universal, debido a las características que lo conforman, como se explica en el capítulo 2.6; sin embargo tiene limitantes puesto que emplea pocas variables del suelo y clima. Independientemente de las limitaciones del modelo, su manejo es sencillo y solo requiere datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) medias mensuales; el modelo estima la evapotranspiración potencial y realiza el balance hidrotérmico para cada estación meteorológica, no obstante el modelo tiende a sobreestimar la humedad disponible en el suelo (Topete-Angel, 2005. Jarauta, 2006), por lo que se debe realizar un ajuste al modelo, especialmente en suelos arcillosos oscuros, como se demostró en los suelos del lote experimental dos en el rancho Cofradía.

Quizá la ventaja más importante del modelo de simulación, que la versión 1.6 permite proponer la lamina de humedad almacenada, pudiendo lograr un alto porcentaje de ajuste del modelo a las condiciones reales de los suelos agrícolas de la región agrícola de que se trate.

### **9.4 Sobre la aplicabilidad del método para clasificación de suelos**

Aquí se demuestra que el criterio de la Taxonomía de Suelos (2006) respecto del espesor y profundidad de la SCHS, no se ajusta para los suelos arcillosos, en los que establece en forma generalizada que la SCHS se encuentra entre los 10 y 30 cm de profundidad; debe definirse un nuevo criterio, ya que en los suelos arcillosos del rancho Cofradía, en el mes de mayo del 2010 (periodo de estiaje) se hicieron pozos agrológicos, con el fin de verificar la humedad del suelo y caracterizar el perfil del mismo. Se encontró que por debajo de la SCHS, la humedad del suelo se encontraba aproximadamente al 14% y más allá de los 70 cm de profundidad se encontró con un 40 % de humedad aproximadamente, mientras que la SCHS estaba a un 2.36% de humedad; la SCHS se encontraba en el punto de marchites permanente (PMP) y el fondo del perfil de suelo (60-100 cm) se encontraba en el tercio inferior de la capacidad de campo (CC).

Una de las ventajas del modelo de simulación de Newhall (V.1.6. 2010), es el hecho de utilizar las subdivisiones propuestas por el método, ya que los regímenes de humedad y temperatura de la Taxonomía de Suelos (2006) están limitados a cinco regímenes. Con el uso de las subdivisiones tentativas, se pueden obtener regímenes hidrotérmicos con diferencias claras entre estas subdivisiones, lo que no permiten las divisiones de los regímenes señalados por la Taxonomía de Suelos; tal es el caso de la definición de regímenes de humedad y temperatura

de los suelos del Estado de Jalisco (Topete-Angel, 2005) y los regímenes definidos en este trabajo.

## **10. CONCLUSIONES**

### **10.1 Acerca de la hipótesis**

La hipótesis propuesta se rechaza, ya que el modelo de simulación de Newhall (2010) sobreestima los contenidos de humedad en el suelo, para los suelos arcillosos del Rancho Cofradía y para los arenosos del Rancho Los Agaves, mientras que para los suelos francos del Campo Experimental del CUCBA subestima la humedad del suelo, debido al alto contenido de pomez, éstos mantienen más días con humedad que los estimados por el modelo aplicado.

### **10.2 Acerca de los objetivos**

Respecto de los objetivos se concluye que han sido cumplidos con los resultados del trabajo desarrollado, ya que se calibraron, clasificaron y cartografiaron los regímenes de humedad y temperatura del suelo de dos valles agrícolas del centro de Jalisco; se pudo probar la bondad de ajuste del modelo de simulación de Newhall, mediante la calibración de niveles de humedad y se propone el uso de tres niveles de humedad en la SCHS, para ajustar el modelo a diferentes texturas del suelo en los diferentes valles agrícolas del estado de Jalisco.

### **10.3 Sobre los criterios de la Taxonomía de Suelos**

Es importante señalar que los criterios de la Taxonomía de Suelos, acerca de los regímenes de humedad deben ser modificados, ya que F. Newhall en principio sugiere una subdivisión de éstos; con ello se abatirían las contradicciones que se observaron en este trabajo, especialmente en lo concerniente a la sección de control de humedad del suelo (SCHS), ya que para el caso de campo experimental de Cofradía, con suelos arcillosos, el criterio de la SCHS (10-30 cm) está muy restringido ya que las raíces y la humedad del perfil de suelo se mantienen por debajo de ésta, aún después de haberse secado la SCHS.

### **10.4 Del modelo de simulación de Newhall**

Se manifiestan diferencias claras entre los resultados del régimen de humedad del suelo obtenido a partir del modelo de simulación de Newhall (V.1.6.2010) y el régimen de humedad determinado con los datos de campo observados; este aspecto limita el uso generalizado del modelo.

El modelo de Newhall estima el régimen de humedad del suelo como Ustico, con subdivisión tentativa Tropústico Udico en general para los tres sitios experimentales, si bien los valles mantienen un clima semejante, los suelos son de texturas contrastantes, por lo que con los datos de campo no se mantiene el régimen de humedad señalado, con la subdivisión tentativa propuesta por el modelo. Una vez calibrado el modelo de simulación, el régimen de humedad resultante es:

Campo CUCBA, suelo franco/ pómez	Tropústico Típico	El más húmedo
Rancho Los Agaves, suelo arenoso	Tropústico Típico	Húmedo medio
Suelos francos de valles agrícolas	Tropústico Típico	Húmedo medio
Rancho Cofradía, suelo arcilloso	Tropústico Típico	El menos húmedo

Debido a que presentan menos días con humedad disponible, baja una categoría el régimen hidrotérmico; por lo que el modelo sobreestima la disponibilidad de agua en el suelo, ya que aparentemente pueden realizarse segundos cultivos sin necesidad de riego, cuando en realidad en el ciclo Otoño-Invierno la disponibilidad de humedad se restringe hasta en 45 días respecto del cálculo de Newhall.

Conforme a las condiciones climáticas de estos valles del centro del estado y al régimen de humedad estimado, no existe problema alguno para la cartera de cultivos del ciclo Primavera-Verano, ya que es la época de mayor temperatura y época de lluvias, cuyas características como cantidad, distribución y persistencia, favorecen la SCHS ya que en general se encuentra húmeda en todas sus partes; por ello es recomendable por ejemplo maíz de ciclo intermedio (130-150 días), mientras que la humedad residual después de este ciclo, se deberá emplear en cultivos de ciclo corto o forrajes, o en su caso, aprovechar esta humedad para incorporación de esquilmos, abonos verdes u orgánicos, con el fin de mantener alta la fertilidad nativa del suelo.

### **10.5 Sobre el manejo del suelo**

Una de las características notorias sobre el manejo de los suelos en los tres sitios experimentales, es la falta de materia orgánica, que afecta tanto la modificación de la estructura del suelo, como de la infiltración del agua en el perfil y por ende la disponibilidad de humedad en la SCHS. La superficie del suelo debe mantener una condición tal, que permita

la máxima infiltración de agua en el suelo y abatir la evaporación; además de controlar la superficie del suelo con agregados estables que disminuyan la susceptibilidad del suelo a la erosión.

Los suelos de los tres sitios experimentales tienen la capacidad para producir buenas cosechas en el periodo Primavera-Verano, debido a la disponibilidad de temperatura y humedad en el suelo; independientemente de su textura, por la cantidad de agua llovida en ese periodo y solamente los suelos Ustarent háplicos del valle de Zapopan cuentan con humedad disponible en el ciclo Otoño-Invierno, debido al gran contenido de pómez que le imprime una particularidad como suelos de humedad residual.