

Universidad de Panamá
Vicerrectoría de Investigación y Postgrado

Programa de Maestría en Ciencias Agrícolas con Especialización en
Producción Agrícola Sostenible

Monitoreo de la humedad del suelo para determinar necesidades de riego en el
cultivo de tomate industrial

Eliseo Batista Villalobos

Proyecto

Presentado como requisito para optar al Grado de Maestro en Ciencias
Agrícolas con Especialización en Producción Agrícola Sostenible.

2015

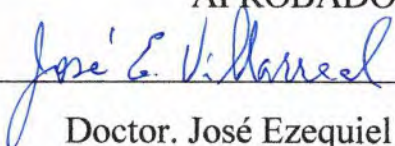


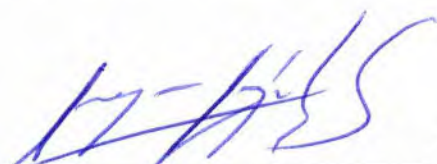
MONITOREO DE LA HUMEDAD DEL SUELO PARA DETERMINAR
NECESIDADES DE RIEGO EN EL CULTIVO DE TOMATE
INDUSTRIAL

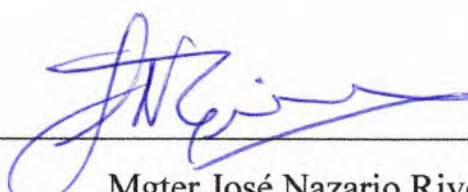
PROYECTO DE INTERVENCIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ESPECIALIZACIÓN EN
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

APROBADO:

 ASESOR
Doctor. José Ezequiel Villareal

 JURADO
Mgter. Gregorio González

 JURADO
Mgter. José Nazario Rivera

PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ

2015

DEDICATORIA

Dedico primeramente este trabajo a Dios Todo Poderoso, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional. De igual forma, dedico este trabajo a mis padres y hermanas, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional y a todos aquellos mis seres queridos que aunque físicamente no estén conmigo, siempre vivirán en mi corazón.

ELISEO.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres Tiburcio y Leticia por apoyarme en todo momento de vida, por los valores que me han inculcado, por haberme dado la oportunidad de estudiar y por ser ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanas Otila y Vielsa por apoyarme en aquellos momentos de necesidad, por sus consejos que me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de vida.

Al Doctor José Ezequiel Villareal por toda la colaboración brindada, durante la elaboración de este proyecto.

A todos los docentes que compartieron sus conocimientos, dentro y fuera de clase, haciendo posible mi formación profesional.

A todos mis amigos y compañeros de la maestría, quienes trabajaron conmigo fuertemente poniendo lo mejor de su energía y empeño por el bien de nuestra formación profesional.

ELISEO.

Índice de contenido

PÁGINA

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
Índice de contenido.....	v
Índice de cuadros.....	viii
Índice de figuras.....	viii
Resumen.....	1
Introducción.....	3
1. ASPECTOS GENERALES.....	4
1.1. Planteamiento del problema.....	4
1.2. Justificación e importancia.....	5
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1. Objetivos generales.....	9
1.3.2. Objetivos específicos.....	9
2 .REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1. Antecedentes.....	10
2.1.1 Industrialización del tomate en Panamá.....	10
2.1.2. Investigaciones relacionadas con manejo del tomate industrial.....	11
2.1.3El Agua en el suelo.....	16
(a).La capacidad de campo.....	17
(b). El punto de marchitez permanente.....	18
(c).El agua disponible para la planta.....	18

2.1.4 Determinación de la humedad del suelo.....	19
(a). Medida del contenido de humedad.....	19
• Métodos directos.....	19
• Métodos indirectos.....	19
(b). Sistemas de medida del contenido volumétrico de agua.	20
• TDR (Time Domain Reflectometry).....	21
(c). Sistemas de medida del potencial de agua del suelo.....	22
• Sensores granulares de la matriz y bloques de yeso.....	22
2.1.5. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo propuesto para este proyecto ventajas y desventajas.....	26
(a). Sistema TDR (Time Domain Reflectometry).....	26
(b).Sistema sensor Watermark®.....	27
2.1.6 El cultivo de tomate.....	28
(a).Condiciones apropiadas para el cultivo.....	30
• Suelos más apropiados para el cultivo del tomate.....	30
• Riego.....	31
• Siembra.....	32
• Fertilización.....	34
• Aspecto fitosanitario.....	35
3. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	36
3.1 Metodología.....	36
3.1.1 Generalidades.....	36
3.1.2. Ubicación del proyecto.....	37

3.1.3. Equipos, materiales y procedimientos.....	37
(a).TDR (Time Domain Reflectometry).....	37
(b). Sonda Watermark®.....	40
(c). Descripción de la variedad que se propone se utilice..	41
3.1.4.Metodología para el monitoreo de la humedad del suelo Para determinar necesidades de riego en el cultivo de tomate industrial.....	43
(a). Caracterización.....	43
(b). Prueba de infiltración.....	44
3.1.5. Calibración del TDR y la sonda Watermark....	45
(a). Calibración del TDR.....	45
(b). Calibración de la sonda Watermark.....	48
3.1.6. Encuestas.....	49
3.1.7. Propuesta para la puesta en marcha del proyecto.....	51
4. REFERENCIASBIBLIOGRÁFICAS.....	57
5. ANEXOS.....	60

Índice de cuadros

PÁGINA

Cuadro 1. El Contenido de Humedad del Suelo en Milímetros de Agua Por Metro de Suelo y en Porcentaje.....	17
Cuadro 2. Extracción de Micronutrientes en el Cultivo del Tomate Por Toneladas de Producción.....	34
Cuadro 3. Características Principales Del Cultivar IDIAP T-8.....	42
Cuadro 4. Tiempo de Riego.....	50
Cuadro 5.Datos de Lecturas del TDR, efectuadas en París de Parita.....	62

Índice figuras

Figura 1. TDR (Time Domain Reflectometry).....	39
Figura 2. Sondas Watermark® Y Medidor digital.....	41
Figura 3.Formulario de encuesta.....	60
Figura 4. Gráfica del % de Humedad Gravimétrica versus el Periodo registrado con el TDR en París de Parita.....	63
Figura 5.Gráfica del % de Humedad Gravimétrica versus la Humedad Volumétrica registrado con el TDR en París Parita.....	64

Resumen

El cultivo de tomate industrial, tiene una relevancia social y económica para la región de Azuero, principalmente en la provincia de Los Santos. Sin embargo, el cultivo presenta algunas limitantes dentro de su manejo que no permite que exprese su máximo potencial de producción. Se determinó que el manejo de la humedad del suelo es un parámetro básico que limita la producción de tomate industrial. De allí la necesidad de implementar un proyecto que vaya encaminado, a determinar las necesidades de irrigación del tomate industrial, basado en la evaluación de la tensión higroscópica, en el crecimiento y calidad del fruto, con la finalidad de mejorar los rendimientos y la gestión del agua en la región de Azuero y así poder darle un manejo más sostenible. Se aborda la fase de mediciones en las parcelas tomateras, para lograr la calibración de dos equipos el TDR (Time Domain Reflectometry) y la sonda de humedad con sensor Watermark®, de manera que estos puedan ser utilizados en la planificación de riego del tomate industrial. Abarca también la fase de capacitación del personal técnico que brindará los servicios a los productores.

Summary

The cultivation of industrial tomatoes, has a social and economic relevance to the Azuero, region mainly in the province of Los Santos. However, cultivation has some limitations in its use, not allowing express its maximum production potential. It was determined that the management of soil moisture is a basic parameter that limits the production of industrial tomato. . Hence the need to implement a project go directed to determine the irrigation needs of the industrial tomato, based on the evaluation of the hygroscopic tension on growth and fruit quality, in order to improve yields and management water in the Azuero region and be able to give a more sustainable management. Phase measurements is discussed in the tomato fields to achieve the calibration of two teams TDR (Time Domain Reflectometry) and the humidity sensor with sensor Watermark® so that they can be used in planning irrigation industrial tomato . Phase also includes the training of technical personnel that would provide services to producers.

Introducción

Los productores de tomate industrial de la región de Los Santos, deben competir por los contratos en la planta procesadora entregando, consistentemente frutas con poco defectos, altos en sólidos solubles y buen desarrollo del color entre otros parámetros. Los productores son a veces penalizados por no cumplir los objetivos de calidad y volumen de fruta a entregar, recibiendo pagos menores por la fruta o perdiendo contrataciones de futuras superficies. Tanto el rendimiento, como la calidad de los tomates para procesamiento, dependen de la optimización del manejo del agua.

Excesos de riego desperdician agua, lixivian nutrientes, limita la difusión del oxígeno a las raíces, y puede contribuir a la aparición de enfermedades fungosas. La insuficiencia de agua retarda el crecimiento y reduce el rendimiento de los frutos.

El manejo del contenido de humedad en el suelo es una variable importante para lograr una producción agrícola óptima, y más hoy en día cuando la demanda de agua aumenta debido al crecimiento urbano, a las recurrentes sequías y al cambio climático, que obliga a la agricultura de riego a incrementar su eficiencia en el manejo del agua.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Planteamiento del problema

El tomate industrial es sin duda el cultivo de mayor importancia para procesamiento industrial durante la época seca, en la provincia de Los Santos, de acuerdo con MIDA (2014). El tomate industrial, demanda de mucha tecnología para hacerlo competitivo y sostenible. El Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), ha realizado investigaciones en este cultivo, tanto para incrementar rendimientos, como para atender los aspectos fitosanitarios, que inciden en el rendimiento y productividad del tomate industrial, IDIAP, (2007). Sin embargo, en la actualidad en Panamá, existe un desconocimiento en materia de datos fiables, que permitan planificar el riego en el tomate industrial.

Para obtener datos confiables que permitan planificar el riego, se hace necesario obtenerlos de una manera práctica, una alternativa para lograrlo, es la medición de la humedad de manera directa en el campo de modo que se puedan tomar decisiones en el menor tiempo posible, sin los inconvenientes que se plantean en materia de tiempo con una prueba de laboratorio. Para esta medición directa de humedad se puede emplear una serie de equipos, por ejemplo: Tensiómetro, Sonda de Humedad, TDR.

Para que estos instrumentos arrojen una correcta información, requieren ser calibrados, para que la información que suministren sea fiable y de utilidad para la planificación del riego y fertilización en diversos cultivos, como es el caso del tomate y así poder dar un manejo sostenible al cultivo.

1.2. Justificación e importancia

Entre los cultivares de tomate que el IDIAP ha desarrollado en los últimos años y que se oferta a los productores tenemos: IDIAP T7, IDIAP T8 e IDIAP T9, que presentan un potencial de rendimiento alto, superior a los 68,000 kg ha^{-1} . Sin embargo, para que los mismos expresen este potencial, necesitan un manejo agronómico adecuado. Esto involucra que se debe manejar aspectos de cultivo, como época de siembra, preparación de suelo, semilleros, densidad de siembra y otras actividades de índole fitosanitaria como el control de maleza, manejo enfermedades y de insectos, además de atender los aspectos nutricionales de la planta y de riego. Todas estas actividades deben desarrollarse bajo el mencionado manejo agronómico adecuado para potenciar sus bondades.

La actividad tomatera según comentó el Ingeniero José Candelario Cedeño (comunicación personal), es una actividad que genera divisas para el país e ingresos para un gran número de productores de la región de Azuero.

Otro punto por el cual es importante este proyecto es por el aspecto nutricional. Según Peregrín (2011), el cultivo del tomate ocupa el lugar No. 16 en relación con la concentración

relativa de un grupo de 10 vitaminas y minerales. Sin embargo, su alto nivel de consumo, convierte a esta hortaliza en una de las principales fuentes de vitaminas y minerales en muchos países. Peregüez (2011), cita a Grubben (1977), y este plantea que el valor nutricional del tomate no es muy elevado, pero dado su alto consumo a nivel mundial se convierte en importante fuente nutricional.

Por otro lado, las incidencias del cambio climático y el hecho de que la actividad tomatera se desarrolle principalmente en la provincias de Los Santos y parte de Herrera, en un área comprendida en su gran mayoría en el denominado arco seco de Panamá y sumado a las presiones del mercado, que demanda tomate de calidad a precios competitivos con el mercado internacional, plantean el reto de potenciar al máximo los rendimientos y poder ser competitivo.

De todo lo antes expuesto subyace una realidad que refleja, que donde más se adolece o en donde la investigación es más incipiente, es en el aspecto de manejo del riego y nutrición de la planta. Esto se vio reflejado en una encuesta realizada a los productores de tomate de la región de Azuero, (ver anexos) primordialmente, los que establecen sus cultivos en la provincia de Los Santos. Dicha encuesta fue realizada del 11 al 12 de septiembre de 2014, lo que reflejó un desconocimiento por parte de los productores en aspectos que inciden en el manejo del cultivo, principalmente en lo que respecta al manejo de riego. En sí la encuesta dio a conocer que los productores desconocen la manera correcta de hacer un muestreo de suelo, así como algunos parámetros importantes para el riego como la textura, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y demás. En cuanto al manejo

del cultivo se detectó problemas con el arreglo topológico y la densidad de plantas por hectáreas, problemas estos que inciden con la sanidad del cultivo y el manejo del riego. En este último aspecto se desconoce, ¿cuándo regar realmente?, ¿cuándo suspender el riego?, ¿qué cantidad de agua aplicar y durante qué tiempo y con qué frecuencia? Todos estos parámetros de manejo son desarrollados por los productores de una manera muy empírica y de una manera poco confiable incidiendo en el rendimiento. Es necesario, adoptar sistemas de riego adecuados y apropiados para cada terreno, así como brindarle nutrición balanceada para que la variedad creada, mediante mejoramiento genético, exprese todo su potencial productivo.

Esto adquiere mayor relevancia cuando según Medrano *et al.* (2007) es conocido que en muchos países, las limitaciones de disponibilidad de agua están afectando cada vez más a toda la población. Esta situación hace que el gasto de agua en la agricultura, que se supone entre el 50 y el 80% del agua disponible, se mire como un “exceso”, ignorando que ese consumo se usa para la producción de alimentos. En este sentido, la economía en el uso del agua en sistemas agrícolas constituye una prioridad fundamental de estudio, con el fin de obtener producciones regulares sin desperdiciar dicho recurso.

En el mismo orden de ideas cabe señalar que, para el manejo apropiado del riego se requiere la evaluación de parte del agricultor de sus necesidades de riego en base a medidas de varios parámetros físicos del suelo. El agricultor generalmente se hace dos preguntas al desarrollar una estrategia para el manejo del riego: “¿Cuándo regar?” y “¿Cuánta agua aplicar?” (Martin, 2010). Es así, como el conocimiento de la correcta calibración de instrumentos como la sonda de humedad y TDR, permitirá dar un mejor manejo al riego, al

Contribuir a dilucidar estas interrogantes en el agricultor, como también contribuirá a elaborar curvas de absorción de nutrientes y lograr una mejor fertirrigación en cultivos como el tomate industrial. Es aquí precisamente donde se encuentra el fundamento que justificará este proyecto.

Monitorear el contenido de agua en el suelo es esencial para ayudar a los agricultores a optimizar la producción, conservar agua, reducir los impactos ambientales y ahorrar dinero.

El exceso de irrigación puede incrementar el consumo de energía y los costos de agua, aumentar el movimiento de fertilizantes por debajo de la zona radicular, producir erosión y transporte de suelo y partículas de químicos a los canales de drenaje. El riego insuficiente puede reducir la producción de las cosechas. De aquí la importancia del conocimiento de la correcta calibración de los instrumentos para poder desarrollar un buen programa de riego en cultivos como el tomate.

Cabe mencionar que en la actualidad existe poca información sobre algunas propiedades básicas de los suelos de la región de Azuero, como curvas de retención de humedad y densidad aparente, que faciliten la planificación del riego en el cultivo de tomate y tanto la industria, como las actividades agrícolas tomateras se desarrollan en los suelos de la Península de Azuero, motivo por el cual esta propuesta se centra en investigar los datos en las tensiones necesarias para que el cultivo de tomate sea lo más productivo y con el menor uso del vital líquido (agua) que es tan escaso en dicha región.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar las necesidades de irrigación del tomate industrial, basado en la evaluación de la tensión higroscópica, en el crecimiento y calidad del fruto, con la finalidad de mejorar los rendimientos y la gestión del agua en la región de Azuero.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar para un suelo específico los niveles de humedad por medio de dos instrumentos distintos (TDR y sonda de humedad).

Calibrar los datos de tensión higroscópica obtenidos con el TDR y la sonda de humedad con sensor Watermark®. Con los datos obtenidos en laboratorio para correlacionarlos con las necesidades de riego en el cultivo de tomate.

Capacitar al personal del MIDA en el uso correcto de estos aparatos para que así puedan brindar un buen servicio a los productores de tomate industrial.

2.REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1 Industrialización del tomate en Panamá

La industrialización del tomate inicia prácticamente en nuestro país en la década del '40, del siglo XX cuando se instaló en la ciudad de Nata la Compañía Panameña de Alimentos Nestlé S.A., por el año de 1938. Pero esta actividad industrial no se logró, sino hasta la llegada del nuevo gerente, German Gnaegi, quien emprende la tarea de estimular el cultivo del tomate industrial en la Provincia de Coclé, especialmente los más cercanos a la planta procesadora. Para lograrlo, realizó un experimento, el cual consistía en sembrar tomate en las tierras que estaban alrededor de la compañía y dio buenos resultados (Ramos, 2007).

En un inicio al momento del surgimiento de la industria del tomate en Panamá, el producto obtenido tenía como destino el mercado nacional y el centroamericano. Las primeras variedades sembradas provenían, principalmente, de Francia y Estados Unidos, destacándose las conocidas con el nombre de Rosol, 1-12 y otras (Aguilera y Guerra, 2009).

La siembra continúa en los mismos campos, promovieron la aparición de problemas fitosanitarios, en especial de la marchitez bacteriana, cuyo agente casual es la bacteria *Ralstonia solanacearum* (*Pseudomona solanacerarum*), considerada la principal enfermedad del tomate en los trópicos. Esta enfermedad redujo los rendimientos del cultivo

provocando, en 1980, que la compañía NESTLÉ, decidiera trasladar la planta procesadora hacia la provincia de Los Santos.

A mediados de la década de 1970, se inician las actividades de investigación en tomate en el Instituto Nacional de Agricultura (INA) en Divisa. En 1975 se crea el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), posteriormente a partir de 1976 se continuaron los trabajos que condujeron a la obtención de variedades resistentes a la marchitez bacteriana, tales como Línea 1-12, Entero Chico, Entero Grande, DINA, entre otras, que representaron la oportunidad de continuar con el desarrollo de la industria tomatara en el País. Más recientemente, el IDIAP desarrolló nuevas variedades de tomate para la industria, como la IDIAP T7, IDIAP T8 y la IDIAP T9, esta última con un potencial de rendimiento que sobrepasa los 68,182 kg ha^{-1}

2.1.2 Investigaciones relacionadas con manejo del tomate industrial

A nivel internacional se han realizado estudios relacionados con la medición de la humedad del suelo, aplicables para la planificación del riego, confección de curvas de absorción de nutrientes y la fertirrigación para el cultivo del tomate industrial, como el de Peregüez (2011), en la Universidad Nacional de Colombia sede de Palmira; Rincón (2003) y Sánchez (1995).

En la primera investigación que fue realizada por Peregüez (2011), se llegó a la conclusión de que para el caso del tomate variedad UNAPAL Maravilla, este responde de

forma óptima a aplicaciones de 22 g Nitrógeno, 20 g Potasio y 7g de Magnesio por planta. Debido a que a partir de los 59 días después del trasplante el nitrógeno tiende a estabilizar su cantidad absorbible en la planta, con relación a la acumulación de materia seca, lo cual indica que aplicaciones mayores de esta cantidad incurrirían en un costo económico innecesario.

Con relación a los coeficientes del cultivo (K_c), que es la relación que existe entre la evapotranspiración real (E_{Tc}) de cada cultivo específico y la evapotranspiración de referencia (E_{To}) en las mismas condiciones y en un mismo microclima. El coeficiente específico de cada cultivo obtenido en los diferentes estados fisiológicos para el cultivo de tomate variedad UNAPAL Maravilla fueron los siguientes: Fase de Establecimiento fue $K_c = 0.5$, Fase de Desarrollo Vegetativo $K_c = 0.7$, Fase de Floración $K_c = 1.1$, Inicio de la Fructificación $K_c = 1.2$ (Peregüez, 2011).

Otros estudios advierten sobre ciertas consideraciones a tomar en cuenta como la necesidad de ajustar la dosis de riego a las características del suelo, y así evitar la pérdida por percolación profunda que produzca arrastre de nutrientes y el consecuente desequilibrio en las concentraciones de minerales del suelo. Y estos ajustes solo se pueden hacer conociendo el contenido de humedad del suelo en un momento dado, por lo que se hace necesaria la correcta calibración de los equipos destinados para tal fin (Rincón, 2003). También existen estudios sobre el empleo de aparatos para la medición de la humedad en la zona no saturada del suelo (Sánchez, 1995). En este estudio se destaca que la técnica de la medida de humedad del suelo mediante sistemas usando un TDR (Time Domain Reflectometry) parece haberse generalizado. Este método según el autor presenta varias

ventajas con relación a las técnicas tradicionales, pero su utilización implica etapas de control a partir de métodos clásicos.

La relación entre la constante dieléctrica del suelo y el contenido de humedad establecida según Sánchez (1995), no parece ser universal y su validación debe realizarse para cada tipo de suelo. Las medidas de tensiones con tensiómetro analógico parece no presentar mucho problema cuando se trabaja en condiciones de humedad superiores a $pF\ 2.9$ (80 cbar). En medios áridos este tipo de sistema no es aconsejable siendo más interesante utilizar sistemas de medidas directas de la humedad tipo TDR.

En la Universidad de Salamanca, en España, se realizó un estudio que trató sobre diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo, donde se describe el diseño de una sonda para medir la humedad del suelo mediante la técnica TDR. El modelo propuesto presenta una serie de ventajas sobre otros anteriores y se caracteriza, entre otras cosas, por su versatilidad, fácil montaje y conexión, robustez, estanqueidad, nitidez de la señal y bajo coste económico. Se llevó a cabo un exhaustivo análisis de validación, comparando series de mediciones de humedad medida con TDR y gravimétricamente en monolitos de suelos con diferentes características, obteniendo en todos los casos un resultado satisfactorio ($R^2 = 0.9$, $N = 171$) (Martínez y Ceballos, 2001).

Igualmente se realizó un estudio similar titulado: Uso del TDR en ensayos de movimiento de agua sobre columnas de suelo inalterado. Donde se midió a distintos niveles de estas columnas por medio de la técnica de TDR, usando sondas de dos varillas insertadas horizontalmente. Previamente se hizo una calibración de la relación entre la constante

dieléctrica (K_a) y el contenido volumétrico de humedad (H_v) para cada uno de los dos horizontes principales de ambos suelos. Se estudió la calidad de las mediciones y se compararon las calibraciones obtenidas con dos de las habitualmente propuestas como “universales”. Durante un proceso de secado, partiendo de la saturación, se siguió la evolución de los perfiles tensiométricos y de humedad de las columnas de suelo. De ellos se derivaron las características de retención de humedad y la conductividad hidráulica insaturada en cada nivel de medida (López, Crende y Castelao, 2005)

Estudios realizados en la Universidad de Texas A&M, por Enciso, Poster y Pèriès, (2007), el monitoreo de humedad de suelo para riego, con distintos aparatos tales como el sensor Watermark®, que funciona similarmente al sensor de bloques de yeso y tensiómetro, que permiten la cuantificación de la humedad del suelo para riego. En este estudio se concluyó que, existen varios métodos para monitorear la húmeda del suelo y programar el riego. Mientras cada método presenta sus ventajas y desventajas, su correcta instalación y calibración puede convertirlos en herramientas muy eficaces para manejar el riego.

Monitorear la humedad del suelo involucra tener conocimientos básicos sobre el uso de agua del cultivo, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, la profundidad y las características de la zona radicular y permite hacer un mejor manejo del riego y así se ve reflejado en múltiples estudios.

Más recientemente y relacionados directamente con tomate industrial, destaca el trabajo realizado por Lagunas (2013), donde se evaluó el manejo del riego por medio de

sensores de humedad del suelo en un cultivo de tomate para industria, este trabajo se realizó, bajo condiciones donde el cultivo contó con un sistema de riego por goteo y una cobertura plástica o acolchado, para facilitar el manejo hídrico del cultivo. Los resultados de este estudio indicaron que tanto el modelo de programación de riego basado en el método de los coeficientes como la programación automática con sensores de humedad de suelo permiten obtener buenas producciones, de calidad adecuada, con una alta eficiencia en el uso del agua.

Sin embargo, el manejo mediante sensores requiere un control continuo de los mismos por personal cualificado para evaluar y detectar posibles errores en las lecturas; por posibles problemas en la distribución del agua, por las conexiones del sensor o incluso por la propia dinámica del cálculo de la variable de salida del sensor (potencial del suelo o transformación del % de humedad volumétrica a % de agua útil), que afectaría al riego aplicado al cultivo Lagunas (2013).

En lo que respecta a Panamá, el estado del arte en el cual se encuentra este tipo de investigaciones, en el ámbito nacional, es muy incipiente. Se sabe de ciertas iniciativas realizadas con respecto a la calibración de instrumentos de medición de la humedad del suelo, como las realizadas por IDIAP, hace algunos años atrás, pero mediante el uso de sonda de neutrones, sin embargo, los datos obtenidos no fueron satisfactorios, pues arrojaron datos muy dispares, que advierten problemas de calibración en el equipo. Sin embargo, en lo que respecta a la calibración de tensiómetros, Sonda de Humedad y TDR, para suelos de Panamá, no se tiene información que sea útil para la calibración de estos instrumentos y así obtener

datos que permita contribuir a una correcta planificación del riego, y la confección de las curvas de absorción de nutrientes y a la fertirrigación en cultivos como el tomate industrial.

2.1.3 El agua en el suelo

El suministro de agua al suelo, ya sea por riego, lluvia o flujos internos es indispensable para la germinación, crecimiento, desarrollo y producción de las plantas. El movimiento, contenido y disponibilidad del agua está determinado principalmente por las propiedades físicas del suelo, particularmente la textura, estructura, porosidad, profundidad y contenido de materia orgánica (Cavache, 2002; Peregrín 2011). La parte sólida, está constituida por pequeñas partículas que se han separado del material original (rocas) y del material orgánico. Estas partículas dejan espacios libres, que son ocupados, sea por agua o por aire, según el estado de humedad del suelo. La suma de los espacios huecos en un suelo seco se llama porosidad del suelo, cuando se expresa en relación al volumen de las partículas sólidas.

En relación a lo antes expuesto Enciso, Poster y Pèriès (2007), destacan que la capacidad de almacenamiento del agua del suelo está relacionado directamente a su textura, estose presenta en el cuadro 1.

Cuadro 1. El contenido de humedad del suelo en milímetros de agua por metro de suelo y en porcentaje

Textura del Suelo	Capacidad de Campo 1/3 de Bar	Punto de Marchitamiento 15 Bar	Agua Disponible para la Planta
Arena	99.99 (10)	41.66 (4)	58.33 (6)
Arena margosa	158.33 (16)	66.66 (7)	91.66 (9)
Marga arenosa	208.33 (21)	91.66 (9)	116.66 (12)
Marga	266.66 (27)	116.66 (12)	149.99 (15)
Marga limosa	299.99 (30)	149.99 (15)	149.99 (15)
Marga arcillo-arenosa	358.33 (36)	199.99 (20)	158.33 (16)
Arcilla arenosa	316.66 (32)	183.33 (18)	141.66 (14)
Marga arcillosa	291.66 (29)	183.33 (18)	108.33 (11)
Marga arcillo-limosa	283.33 (28)	149.99 (15)	133.33 (13)
Arcilla limosa	399.99 (40)	199.99 (20)	199.99 (20)
Arcilla	399.99 (40)	216.66 (22)	183.33 (18)
*Los números en paréntesis representan el contenido volumétrico de humedad en porcentajes.			

Fuente: Enciso, Poster y Pèriès (2007)

Con el fin de facilitar el manejo eficiente del riego, se han definido unos parámetros que describen la capacidad de almacenamiento del agua del suelo. Estos parámetros se definen a continuación:

(a). La capacidad de campo

Es el contenido de agua en el suelo después de aplicar un riego pesado y cuando la velocidad del drenaje cambia de rápida a lenta. Este punto se logra cuando toda el agua gravitacional se ha drenado. La capacidad de campo se logra normalmente dos o tres días después del riego y se alcanza cuando la tensión del agua en el suelo es de

aproximadamente 0.3 bars (30 centibars o 3 m de columna de agua) en suelos arcillosos o de 0.1 bars en suelo de textura media Enciso, Poster y Pèriès (2007).

(b).El punto de marchitez permanente

El contenido de agua en el suelo al cual las plantas no se pueden recuperar y se marchitan aun cuando se les adiciona suficiente humedad. Nos dicen también que este es un parámetro que puede variar de acuerdo a las especies de las plantas y al tipo de suelo, y ha sido determinado por experimentos en invernaderos. Este punto se logra cuando la tensión del agua en el suelo alcanza entre 10 y 20 bars (de 102 a 204 m de tensión). Generalmente, se utiliza un valor medio de 15 bars (153 m). El agua higroscópica es cuando el agua está retenida fuertemente por las partículas del suelo (por debajo del punto de marchitez permanente) y no puede ser extraída por las raíces de la planta Enciso, Poster y Pèriès (2007).

(c).El agua disponible para la planta

Esta última es el contenido de agua retenido entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. Generalmente, este parámetro se expresa en milímetros de agua por centímetro de profundidad del suelo. Éste depende de factores tales como la textura del suelo, densidad aparente y estructura del suelo Enciso, Poster y Pèriès (2007).

2.1.4 Determinación de la humedad del suelo

(a). Medida del contenido de humedad.

La principal razón por la que interesa medir el contenido de humedad en un suelo es para saber cuándo se requiere regar. El contenido de humedad de un suelo puede ser medido según (Lagunas, 2013), por varios métodos entre los que destacan los:

- Métodos directos:

Son métodos de campo y/o laboratorio con muestreo y/o secado. Su exactitud depende de la experiencia y habilidad por parte de quien los realiza. Ellos son:

1. Método al tacto
2. Método gravimétrico

- Métodos indirectos:

Son métodos basados en dispositivos utilizados en campo que se han ido perfeccionando e innovando tratando con ello de ser más precisos y de fácil operación. Estos son:

1. Tensiómetro
2. Bloques de yeso
3. Aspersor de neutrones
4. Medidor rápido de humedad “Speedy”
5. Medidor Watermark™

6. Medidor Aquater™

7. Termómetro infrarrojo

8. TDR (Time Domain Reflectometry)

- Método directo: gravimetría

Método sencillo y fiable para determinar directamente el contenido de agua del suelo. (Lagunas, 2013). Es un método ampliamente utilizado como metodología para comparación con otro tipo de medidas de la humedad del suelo. Su mayor inconveniente radica en que es un método destructivo, por lo que no se puede repetir el muestreo en el mismo lugar y no permite, para un punto concreto, realizar un seguimiento de la humedad del suelo continuado en el tiempo. El contenido de agua se expresa como la proporción de masa de agua presente en una muestra de suelo (θ_g).

- Métodos indirectos: sensores de humedad

Existen otras técnicas de determinación del estado de humedad del suelo basadas en métodos indirectos los cuales miden otras propiedades del suelo que varían con el contenido de agua. Se basan en la utilización de sensores de humedad (Lagunas, 2013).

(b).Sistemas de medida del contenido volumétrico de agua

Están basados en diferentes principios, pero en todos ellos se introduce un sensor en el suelo. Por ello, es muy importante el buen contacto entre el sensor y el suelo. Mediante una adecuada calibración local, ofrecen valores de humedad del suelo que pueden registrarse de

forma continuada en el tiempo. Son sistemas basados en la medida de la constante dieléctrica del suelo, atenuación de neutrones y disipación de calor.

La constante dieléctrica es una medida de la capacidad de un material no conductor para transmitir ondas o pulsos electromagnéticos. La constante dieléctrica de un suelo seco es menor que la del agua y pequeños cambios en la cantidad de agua libre del suelo tienen un gran efecto en las propiedades del sistema agua - suelo. Uno de los sistemas desarrollados para esta medida es TDR.

- TDR (Time Domain Reflectometry):

Este método permite cuantificar la humedad volumétrica del suelo en función del tiempo de recorrido de un pulso electromagnético transmitido en el suelo. Este tiempo es proporcional a la constante dieléctrica del medio aire – agua – suelo, y únicamente varía con el contenido de agua del mismo. La metodología TDR es un método relativamente rápido y de alta precisión que puede resultar muy útil en estudios de dinámica del contenido de agua en el suelo. Sin embargo, algunos autores recomiendan su calibración cuando se utilice en suelos con alto contenido en materia orgánica y de textura fina, así como en condiciones de salinidad.

El principio del TDR, se basa en que el contenido volumétrico del agua en el suelo se obtiene determinando la constante dieléctrica aparente del suelo (K_{ab}), al medir el tiempo requerido por una onda electromagnética para recorrer un par de varillas metálicas (electrodos) introducidas en el suelo. La medición del tiempo se realiza por los cambios más o menos bruscos producidos por las variaciones en la impedancia cuando la onda pasa del cable al suelo al inicio de las varillas, lo que produce una reflexión parcial de la onda. Que regresa al reflectómetro, y un segundo reflejo que se produce cuando dicha onda alcanza el

campo abierto al salir del extremo final de las varillas. En consecuencia, el camino recorrido es dos veces la longitud (L , m) de las líneas o varillas (Florentino, 2011).

(c).Sistemas de medida del potencial de agua del suelo

- Sensores granulares de la matriz y bloques de yeso

Los bloques de yeso responden a los cambios de humedad del suelo de acuerdo a la profundidad en que éstos son colocados en el suelo al medir la resistencia eléctrica entre dos círculos de malla de alambre que están conectados por un material poroso (Enciso, Poster y Pèriès, 2007).

El medidor portátil del sensor Watermark® mide la tensión de la humedad del suelo en un rango de 0 a 199 centibars. La tensión debe ser interpretada cuidadosamente de acuerdo a las propiedades del suelo. Para obtener una lectura más precisa de la humedad de suelo, es importante instalar varias estaciones de sensores Watermark® por terreno, especialmente si el terreno tiene varios tipos de suelos. Una estación debe consistir en la instalación de varios sensores enterrados a diferentes profundidades, según el tipo de cultivo (a la profundidad efectiva de la raíz), con el fin de evaluar el movimiento y la extracción de la humedad a lo largo de la temporada del cultivo.

Factores a considerar en la elección de sensores de humedad:

Los sistemas de monitorización de la humedad en el suelo son herramientas muy útiles para conocer la humedad del suelo en todo momento. Por ello es importante conocer las variables que pueden influir en las lecturas que los sensores aportan para realizar una elección apropiada del tipo de sensor a utilizar, definir los criterios a emplear durante su instalación

(tipo y posicionamiento), analizar las lecturas considerando los límites de precisión y representatividad que aporta el sensor en el entorno en el que está instalado y evaluar el origen de posibles discrepancias que pueden aparecer estableciendo si se deben a errores de funcionamiento del sistema o errores experimentales, entendiendo estos como las limitaciones que tiene el sistema para medir los diferentes parámetros (Lagunas, 2013).

Las variables que afectan a las lecturas obtenidas por los sensores de suelo dependen de las cualidades físico-químicas del suelo, del movimiento del agua en el suelo y, por último, de las características técnicas del sensor y los factores asociados a su instalación. Entre las variables a considerar se distinguen:

Factores que dependen del suelo:

Textura/estructura del suelo.

La textura influye en el valor de las lecturas obtenidas y su interpretación, especialmente cuando se usan sensores cuya lectura es el porcentaje de agua en suelo, puesto que para diferentes texturas el suelo tiene diferentes capacidades de retención de agua. La estructura tiene importancia sobre la manera en la que el agua se infiltra en el terreno debido a la influencia que esta puede provocar en la aparición de caminos preferenciales del agua.

Elementos gruesos:

Tienen gran importancia debido a su poca capacidad de absorción/adsorción. Representan porciones de suelo incapaces de retener agua y por tanto las lecturas de los sensores pueden verse alteradas, en especial los valores absolutos procedentes de sensores que miden el % de agua en suelo, debido a que la humedad de estos elementos no sufre variaciones.

Densidad aparente:

El asentamiento producido por la gravedad y la repetición de ciclos de llenado y vaciado de agua, provocan que el suelo adquiera una densidad que viene dada, generalmente, por la textura/estructura de éste. La densidad aparente es un buen indicador de la existencia de macroporos, que están rellenos de aire hasta que el agua ocupa su lugar y, por tanto, pueden producir grandes variaciones en las medidas obtenidas de los sensores.

Propiedades químicas especialmente CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva) y la presencia de sodio Bertsch, F. (1998).

Ejercen influencia sobre la cantidad de agua que el suelo puede retener, la capacidad de las plantas para extraer agua compitiendo contra la tensión osmótica creada por los iones presentes en la solución del suelo y en el caso del sodio sobre la estructura del suelo.

Factores que dependen de la hidrología y el riego:

Permeabilidad y existencia de caminos preferentes.

La permeabilidad de un suelo depende básicamente de su porosidad y en menor medida de la existencia de cationes que interfieren en el movimiento del agua. Es necesario considerar que los diferentes horizontes existentes en un suelo pueden tener diferentes permeabilidades que influyan en la velocidad del movimiento del agua en el suelo y crear capas de encharcamiento o de rápido drenaje.

Orografía del terreno (especialmente pendientes y escorrentías superficiales).

El movimiento del agua se produce por gravedad, el agua se desplaza siempre al lugar donde su potencial es menor. En el caso de suelos de baja permeabilidad el agua puede desplazarse por la superficie (escorrentía) variando la distribución teórica que se podría esperar y produce zonas con mayor “pluviometría” que otras.

Cobertura del riego (uniformidad en sistemas de riego no localizado y bulbo en sistemas de riego localizado).

El objetivo del sistema de riego es obtener una distribución uniforme de agua emitida y acercarla lo más posible al lugar donde el cultivo espera encontrar agua.

Factores que dependen del sensor:

Características técnicas del sensor:

Todos los sensores disponen de una precisión de medida, que puede variar en función de la variación de diferentes parámetros como temperatura, salinidad y otras características del medio en el cual se efectúa la medida.

Calibración del sensor:

Los fabricantes de sensores de capacitancia ofrecen curvas de calibración generales para diferentes tipos de suelo, sin embargo, si se desea obtener el valor real de humedad del suelo en el punto de medida es necesario realizar una calibración previa en el mismo suelo donde el sensor se va a emplear. En la práctica no es habitual realizar esta calibración debido a que, si bien la lectura proporcionada puede ser incorrecta en valor absoluto el sensor se comporta de forma coherente en su rango de medida y ofrece las mismas lecturas en los distintos rangos de humedad. Por ello, sin necesidad de calibrar es posible establecer los límites de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y/o humedad mínima aceptable que son los valores necesarios para establecer la estrategia de riego.

2.1.5. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo propuesto para este proyecto ventajas y desventajas.

En este proyecto se propone la utilización de un sensor que se basa en un sistemas de medida del potencial de agua del suelo, del tipo Sensores granulares de la matriz y bloques de yeso, específicamente una del tipo sensor Watermark® y otro con un sistemas de medida del contenido volumétrico de agua mediante métodos dieléctricos, específicamente un TDR (Time Domain Reflectometry). Ambos sistemas presentan ventajas y desventajas, la cual se presenta a continuación según consideraciones presentadas por Florentino (2011).

(a).Sistema TDR (Time Domain Reflectometry):

Ventajas del TDR

- Es no destructivo.
- Permite medidas continuas y automatizadas in situ.
- Usualmente no se requiere calibración específica; solo en algunos casos.
- Es muy preciso.
- Se puede medir a cualquier profundidad en el perfil y en capas de suelo muy delgadas ya que permite también la inserción horizontal en el perfil de suelo.
- Puede medirse también la salinidad del suelo.
- Amplia disponibilidad de tipos de TDR.
- No trabaja con fuente radiactiva.
- Es poco influenciado por otras características del suelo como Da, textura, temperatura, etc.

Limitaciones TDR:

- Relativamente costoso, aunque en los últimos años son más asequibles.
- Aplicabilidad potencialmente limitada en suelos altamente salinos o en suelos arcillosos muy pesados.
- Requiere calibración específica en algunas condiciones (Ej. suelos orgánicos y volcánicos).
- Considera un pequeño volumen de suelo (alrededor del largo de las varillas).
- Para cada profundidad de medición se necesita insertar varillas metálicas, ya que por diferencia se va a obtener la humedad correspondiente a cada capa o espesor de suelo.

(b).Sistema sensor Watermark®

Ventajas sensor Watermark®:

- Reduce los problemas inherentes a los bloques de yeso.
- Simple y barato.
- Efectos de salinidad controlados hasta los 6 dSm⁻¹.

Limitaciones sensor Watermark®:

- Baja resolución.
- Tiempo de reacción lento.
- Es afectado por la temperatura

2.1.6 El cultivo de tomate

El tomate es una planta perenne, de tipo arbustivo con sistema radicular del pivotante, profundo y poco ramificado cuando de siembra de forma directa, o profusamente superficiales y ramificadas cuando se siembra por trasplante; el tallo es de consistencia herbácea, por lo que es necesario el empleo de tutores. Las hojas son compuestas y se encuentran de forma alterna. Las flores son perfectas, se encuentran agrupadas en inflorescencias. Las variedades de fruto grande presentan menor número de flores por inflorescencia que las que producen frutos más pequeños (Peregüez, 2011; Lagunas, 2013) agrega que el tomate es una hortaliza de origen americano, rica en hidratos de carbono, minerales y antioxidantes como el licopeno.

En la actualidad es la hortaliza más cultivada a nivel mundial y de mayor valor económico, siendo procesada a niveles industriales de muy diferentes formas. Se utiliza tanto para el consumo en fresco como para la fabricación de salsas, concentrados, zumos o jugos, enlatados y gazpachos.

El tomate es un cultivo afín a ambientes cálidos, con temperaturas suaves, bien iluminados y con un buen drenaje de suelo. Su desarrollo vegetativo se ve afectado por exposiciones a temperaturas inferiores a los 10 °C, escarchas, niveles de luminosidad diurna menores de 12 horas, un drenaje insuficiente en el suelo y un abonado nitrogenado excesivo. La modificación al aire libre de estos factores es complicada, sin embargo, la introducción de técnicas como el riego por goteo o el acolchado plástico permite mejoras importantes desde el punto de vista de producción y cantidad de la cosecha (Lagunas, 2013).

En el caso del cultivo de tomate para industria, numerosos autores describen la capacidad del riego localizado para aumentar la producción de fruto sobre otras técnicas convencionales de riego, especialmente en suelos con bajas tasas de infiltración y problemas de drenaje. Asimismo, destacan la reducción del agua empleada para el riego en estos sistemas, siempre y cuando se realice un adecuado seguimiento del cultivo y se tengan en cuenta las características del suelo. El desarrollo de técnicas de riego por goteo se ha visto limitado por factores económicos y por el temor de algunos agricultores a mermas en los parámetros de calidad (Peregüez, 2011).

El riego es posiblemente el factor de producción que más importancia tiene tanto en la producción como en la calidad del tomate de industria. Este cultivo responde al régimen hídrico con un descenso en la producción de frutos, pero con ciertas mejoras de los parámetros de calidad, como el aumento en el contenido de sólidos solubles (Brix). Las mayores producciones se obtienen cuando la humedad del suelo es alta y continúa en toda la fase vegetativa del cultivo, aunque un aporte de riego excesivo no conduce a aumentos en la producción de la cosecha, a expensas por otro lado, de reducir la calidad de ésta. Se ha demostrado que los métodos de riego que permiten frecuentes aportaciones de baja cantidad de agua producen elevados rendimientos y altas eficiencias en el uso del agua (Lagunas, 2013).

Las recomendaciones de riego para este cultivo se basan en la aplicación de riegos abundantes durante los días previos y posteriores al trasplante, con la finalidad de conseguir la humectación de los primeros centímetros de suelo, y asegurar el arraigo de las plantas. Para forzar a las plantas a emitir un sistema radical vigoroso, tras este riego inicial se deja de

regar durante unos días, para comenzar a continuación con aplicaciones de riego, inicialmente ajustadas al desarrollo radicular de la planta y posteriormente a los requerimientos hídricos del cultivo. El grado de maduración determina el momento del corte del riego. En recolecciones únicas se requiere que el 80-85% del producto final se encuentre en condiciones óptimas de maduración (Lagunas, 2013).

Estas consideraciones sobre el riego son muy similares a las que se desarrollan en Panamá, sin embargo, en el país se usan parámetros muy empíricos para el manejo del riego. Así, IDIAP, (2007), señala que experiencias en campo han permitido, mediante cálculos diarios, establecer frecuencias de riego que varían de dos a tres días en suelos livianos y de tres a cinco días en suelos pesados.

(a). Condiciones apropiadas para el cultivo

- Suelos más apropiados para el cultivo para el tomate

Tipo de suelo

Se propone que se realice previamente un análisis completo de suelo (químico y físico), que incluya la capacidad de percolación. La profundidad del terreno es otro aspecto importante que considerar y es determinado en campo. Con fin de identificar aquellos suelos con potencial para el establecimiento del cultivo de tomate.

Topografía

Para mayor facilidad será necesario que se realice un levantamiento topográfico completo que permita conocer las diferentes pendientes del terreno, lo cual es

básico para el diseño del sistema. La información obtenida facilitará los cálculos precisos al momento del trazado de las líneas de conducción secundarias y los laterales del sistema de goteo. Además, indicará la altura máxima de succión y descarga.

- Riego

El suministro oportuno y adecuado de agua es otro de los factores importantes dentro del manejo integrado del sistema de producción de variedad de tomate como lo es el IDIAP T-8, para lo cual se propone, preferiblemente, se utilice sistema de riego por goteo.

Instalación del sistema de riego

Para usar eficientemente el recurso hídrico es básico el diseño e instalación de un sistema de riego por goteo adecuado a las condiciones del terreno. En atención a lo anterior, se propone que se deben considerar los siguientes aspectos: Tipo de suelo, topografía y drenaje.

Drenaje

Está directamente relacionado con algunas características físicas del suelo que influyen sobre el drenaje interno y que pueden afectar el desarrollo de las raíces y de la planta en general, en un sistema de riego por goteo. El drenaje, se debe realizar tomando en cuenta las características del suelo para permitir la percolación del mismo. También se sugiere que se considere la topografía del terreno al momento de hacer acciones tendientes a drenar el suelo, como los drenajes superficiales que parecen ser los más prácticos. En cuanto al drenaje interno se debe realizar ninguna acción por el momento a lo sumo un drenaje conformado

con dren topo cuando el suelo este friable. Considero que sistemas de drenaje más complejos con tuberías no son económicamente recomendables.

Frecuencia

En cuanto a la frecuencia esto es lo que las mediciones de humedad propuesta van a informar. La frecuencia se sabe que depende de varios factores, entre los cuales, son de importancia la etapa fenológica del cultivo, el tipo de suelo, la tasa de evapotranspiración y temperatura, entre otros. Pero son las mediciones las que dirán cuando se aplicará el riego y cuando habrá que suspenderlo.

- Siembra

Época de siembra

La fecha de siembra varía de acuerdo a las condiciones climáticas y principalmente, la precipitación pluvial de la zona de producción. Se propone que la misma se realice alrededor del 15 de diciembre. Para así garantizar que la precipitación pluvial no interfiera con el correcto establecimiento del cultivo

Preparación de semilleros

La preparación de los semilleros requiere especial cuidado en su producción. Una vez ya producidos los plantones se utilizarán los más vigorosos con buena calidad fitosanitaria. Se utilizará en la producción de plantones, exclusivamente, semillas certificadas y bajo condiciones controladas, utilizando casa de vegetación.

El riego del semillero se debe realizar con una frecuencia de dos veces al día, en horas tempranas de la mañana y horas frescas de la tarde, procurando que el substrato mantenga la

humedad adecuada para el óptimo desarrollo de plántones, durante el tiempo que permanezcan en la casa de vegetación. El número de riegos puede aumentar o disminuir de acuerdo a las condiciones predominantes dentro de la casa de vegetación.

Para la siembra, se utilizará semillas certificadas, previamente tratadas con fungicidas y bactericidas, la misma se efectuará en bandejas, de polietileno con un apropiado número de alvéolos. La forma de los alvéolos debe ser de cono con el fondo abierto para permitir el crecimiento de las raíces. Cada bandeja debe ser rellena con sustrato estéril humedecido y compactado hasta las $\frac{3}{4}$ partes del alvéolo. Posteriormente, se colocan las semillas a una profundidad no mayor al doble de su tamaño y se termina de llenar el alvéolo. Las bandejas sembradas se colocaran sobre mesas bien niveladas para evitar daños a los plántones durante esta etapa de desarrollo.

Transplante

Se propone trasplantar las plántulas de la variedad IDIAP T-8, entre los 20 a 21 días después de siembra, cuando tengan de dos a tres pares de hojas y que se abran los hoyos a una distancia de 0.10 m a ambos lados de los goteros de las mangueras de riego profundidad similar a la de los alvéolos de las bandejas de semilleros (aproximadamente de 0.08 a 0.10 m).

Densidad de siembra y arreglo topológico

Para obtener un rendimiento superior a 81,646 kg/ha, el arreglo topológico debe ser de 1.80 m entre mangueras y 0.30 m cada dos plantas, a ambos lados de los goteros de las mangueras de riego, para obtener una población de 37,000 plantas por hectárea.

- Fertilización

La fertilización se debe realizar dependiendo de las condiciones concretas de cada caso (fertilidad del suelo, clima, tipo de riego, cultivar, etc.), que se presente en la parcela ya que la fertilización del tomate varía notablemente. El análisis del suelo previo es necesario, en general, los fertilizantes se aplican según las extracciones estimadas del cultivo. Aunque las variabilidades de extracciones son enormes, las referencias a unidad de cosecha (Cuadro 2), son menores, estimándose las extracciones.

Cuadro 2.Extracción de micronutrientes en el cultivo del tomate por toneladas de producción

Elemento	Extracción por tonelada de cosecha (kg)
N	2.1-3.8
P	0.3-0.7
K	4.4-7
Ca	1.2-3.2
Mg	0.3-1.1

Fuente: Peregüez,(2011)

Fertirriego

Para el mismo se plantea que a partir de la etapa de desarrollo vegetativo, el suministro de nutrimentos a la planta es realizado mayormente a través del sistema de riego por goteo (fertirriego y en menor grado en forma foliar). Teniendo en cuenta lo antes expuesto transcurridas dos semanas después del trasplante se deberán aplicar de 181.8 kg/ha de urea a razón de 11.4 kg dos veces por semana. Iniciada la floración y durante la fructificación, se

deberá aplicar 91 kg de nitrato de calcio a razón de 11.4 kg dos veces por semana. Durante la fructificación aplicar 91 kg cloruro de potasio a una dosis de 11.4 kg dos veces por semana.

Es importante considerar durante todo el ciclo de desarrollo del cultivo, el muestreo de la relación N/K y otros ajustes a la fertilización foliar, a través de los muestreos y análisis de tejido foliar, realizados a partir de la fase de floración. De estos análisis surgen las recomendaciones para la aplicación de los fertilizantes foliares que se consideren necesarios para lograr el mejor desarrollo y rendimiento del cultivo.

- Aspecto Fitosanitario

Se propone que el manejo y control de los problemas fitosanitarios en el cultivo de tomate, deberá atenderse bajo el concepto de Manejo Integrado de Plagas (MIP), considerando los aspectos socioeconómicos y ambientales (tipos de suelos, condiciones climáticas y calidad de agua de riego, entre otros).

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.1. Metodología

3.1.1 Generalidades

Actualmente se cuenta con equipos y metodologías que permiten realizar un monitoreo de la humedad de manera precisa, practica y rápida en un mismo punto, sin los inconvenientes que se presentan con las técnicas destructivas, los peligros para salud que presentan algunas técnicas.

La idea que se presenta es realizar una serie de mediciones en el campo con equipos como el TDR y la sonda de humedad con sensor Watermark®, y comparar estos datos con pruebas gravimétricas de laboratorio tomando muestras del mismo suelo y así poder sacar las correlaciones pertinentes que nos permitan calibrar tanto el TDR, como la sonda de humedad con sensor Watermark®, de tal manera que permita utilizar estos instrumentos con la certeza de que los datos que arrojen son fiables y permitan planificar el riego en cultivos como el tomate.

En esta propuesta se presentan dos alternativas viables para la determinación de la humedad del suelo *in situ*, sin disturbar el suelo. La primera opción trata de la utilización de

sensores que se basa en un sistema de medida del potencial de agua del suelo, de tipo sensores granulares de la matriz y bloques de yeso, específicamente una del tipo sensor Watermark® y otro con un sistemas de medida del contenido volumétrico de agua mediante el método dieléctrico, específicamente un TDR.

3.1.2. Ubicación del proyecto

EL proyecto en cuestión proponemos se desarrolle en la región central del país, en la Península de Azuero, provincias de Herrera y Los Santos. Según información suministrada tanto por la compañía Nestlé Panamá, como el MIDA, es donde se desarrolla principalmente la actividad del cultivo de tomate industrial (MIDA, 2013).

En cuanto al ámbito agroecológico comprende las tierras bajas de la costa del pacífico del país con regímenes de humedad ústico y udico y régimen de temperatura isohipotérmico. Según información cartográfica, predominan los suelos del orden Alfisoles, Inceptisoles y 1menor escala Entisoles y Vertisoles en el sur de la península (Agudo y Villarreal, 2013).

3.1.3. Equipos, Materiales y Procedimientos

(a).TDR (Time Domain Reflectometry)

El equipo TDR propuesto es un medidor de humedad del suelo de Field Scout TM modelo TDR300. Este es un aparato que basa su funcionamiento en la reflectometría de dominio

temporal, que es una tecnología comprobada que utiliza una técnica electromagnética indirecta, rápida, no destructiva y precisa para estimar el contenido volumétrico del agua del suelo (VWC –Volumetric Water Content) o sea de humedad del suelo. Según Bravo *et al.*

(2009), este aparato en si es una sonda portátil Field Scout TM que va incrustada en una pequeña caja rectangular de 11cm de largo, 6cm ancho y 3cm de espesor del cual lateramente tiene unos manubrios de apoyo, y por la parte inferior una salida donde se conecta un cable coaxial. Todo esto va montado en la parte superior, sobre una estaca o tubo metálico de unos 90cm de largo (TRACOM, 2010).

De salida inferior de la caja antes mencionada sale un cable coaxial que desciende enrollado por el tubo, hasta la parte inferior del mismo donde se localizan unas barrillas de acero inoxidable, que para el caso de tomate industrial deben ser de 20cm dadas la profundidad de las raíces de este cultivo. Este equipo es capaz de generar una serie de pulsos eléctricos de duración precisamente limitada, con un amplio rango de altas frecuencias usadas por diferentes equipos (Ej. 0,02-3GHz), los cuales viajan a través de las varillas conectadas al cable coaxial y de allí una vez a la sonda.

Esta alta frecuencia genera una respuesta menos dependiente de las propiedades específicas del suelo tales como textura, salinidad o temperatura. En sí, los electrodos forman una línea de transmisión con una velocidad de propagación que es dependiente de la permitividad dieléctrica del medio alrededor de los electrodos. Al mismo tiempo, el TDR mide y digitaliza el nivel de energía de las varillas metálicas a intervalos alrededor de 100 picosegundos. Cuando el pulso electromagnético encuentra una discontinuidad, parte del

pulso es reflejado, lo cual produce un cambio en el nivel de energía de las líneas de transmisión, por lo cual el tiempo de recorrido se determina por el análisis de los niveles de energía digitalizados.

Según Florentino (2011), el medidor convierte la señal eléctrica en un porcentaje de contenido de humedad utilizando una ecuación válida para un amplio rango de suelos minerales.



Figura: 1. TDR (Time Domain Reflectometry)

(b).Sonda Watermark®

La sondas Watermark® es un sistema de medida del potencial de agua del suelo, de tipo Sensores granulares de la matriz y bloques de yeso. La sonda que se propone se utilice es un dispositivo fabricado por IRROMETER Company, el mismo es un sensor modelo 200 ss. que consiste en un par de electrodos de alta resistencia a la corrosión que se encajan dentro de una matriz granular, bloque de yeso, que va en una cubierta metálica de 2.2cm de diámetro y 8.3 cm de largo. El movimiento de agua entre el suelo y el sensor es manifestado en variaciones de la resistencia eléctrica entre los electrodos del dispositivo donde dichas variaciones de resistencia eléctrica son convertidos a potencial mátrico del suelo (IRROMETER, 2013).

Esta lectura es posible mediante el paso de una corriente eléctrica emitida por un medidor digital que en este caso sería un lector de Sensor de Suelos Field Scout™ modelo 6465, para obtener un valor de la resistencia. El sensor termina en 2 cables verdes con pistas circulares, el sensor debe ser conectado a unitario Adaptador Watermark 6450ADPT. El adaptador tiene un cable de estéreo de 2.5mm que puede ser conectado al medidor. El medidor digital correlaciona la resistencia a centibares (cb) o kilopascales (kPa) de tensión de agua del suelo. El rango de lectura va de 0-200 Centibares (Specmeters, 2012).



Figura 2. Sondas Watermark® Y Medidor digital

(c).Descripción de la variedad que se propone se utilice

Un aspecto muy importante dentro de la metodología es la variedad. Se propone se utilice el cultivar IDIAP T-8. Según Aguilera y Guerra (2009), la variedad es el principal componente del sistema de producción y debe cumplir con tres requisitos básicos: Alta productividad, tolerancia a los problemas fitosanitarios de importancia económica y buena calidad agroindustrial del fruto. Todos estos requisitos los reúne uno de los productos obtenidos del mejoramiento genético del IDIAP, más reciente, el cultivar IDIAP T-8, por tal razón y por ser una variedad que se está recomendando y es empleada actualmente por los productores, se propone su empleo en este proyecto.

El cultivar IDIAP T-8 (IDIAP, 2012) se caracteriza por su alto potencial de rendimiento, entre 54.500 y 6800kg ha^{-1} , fruto de tipo pera grande y color rojo, ideal para la industria y consumo fresco, y su alta tolerancia a la bacteria *Ralstonia solanacearum* que produce la marchitez bacteriana. Su cultivo se recomienda en tierras bajas, fértiles, con poca pendiente, profundas y con facilidades de riego. En el Cuadro 3 se presenta la descripción varietal del IDIAP T-8, de acuerdo a los descriptores IBPGR

Cuadro 3. Características principales del cultivar IDIAP T-8

Parámetro	Característica
Habito de crecimiento	Semi-determinado
Forma del fruto	Pera Grande
Color del fruto inmaduro	Verde claro
Color del fruto maduro	Rojo
Diámetro del fruto	8.0 a 8.6cm
Días ha floración	35-40 días después del trasplante
Rendimiento de una planta	2.0 – 3.0 Kg
Peso promedio del fruto	30-34 gr
Numero de frutos por planta	50 a 60
Rendimiento por hectárea	54.5 – 80 Toneladas
Duración de la cosecha	26 - 30 días
pH	De 5 a 6
Brix	De 6 a 7

Fuente: IDIAP(2012)

3.1.4. Metodología para el monitoreo de la humedad del suelo para determinar necesidades de riego en el cultivo de tomate industrial

(a).Caracterización

Lo primero que se deberá realizar es la ubicación de la parcela dentro del área donde las condiciones agroclimáticas son favorable para el establecimiento, crecimiento y desarrollo de la variedad propuesta, que para el caso será la variedad IDIAP T-8.

Una vez en la parcela se procederá con anticipación a realizar un muestreo, para posteriormente efectuar un análisis de suelo en el laboratorio, con el fin de conocer el estado de fertilidad del mismo, y poder predecir si es posible o no, esperar una respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes o enmiendas aplicadas.

Será necesario realizar estudios más profundos, para así poder determinar las necesidades de riego del tomate industrial mediante el monitoreo de la humedad con las sonda

Watermark, y el TDR.

Se deberá realizar una caracterización de cada suelo donde se va a establecer la parcela, pues la calibración inherente para cada equipo es aplicable a las condiciones locales propias de cada parcela.

(b).Prueba de Infiltración

Como prueba complementaria se propone se efectúe pruebas de infiltración del suelo donde se pretende establecer el cultivo de tomate. La misma deberá ser hecha empleando el infiltrometro de doble anillo, el método consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior.

Esta información nos ayudará a decidir cuál es el tipo de riego óptimo de un suelo determinado, qué caudal deben aportar los goteros o qué medidas adoptar para evitar que las plántulas introducidas sufran un exceso de agua. Aunque es muy posible que al inicio de la experiencia el suelo esté seco o parcialmente húmedo y por lo tanto en condiciones de no saturación, los valores inicialmente muy elevados irán descendiendo con gran rapidez como consecuencia de la presión ejercida por la columna de agua, mayor cuanto más alta sea ésta.

El tiempo que transcurra hasta alcanzarse las condiciones finales de saturación dependerá de la humedad previa, la textura y la estructura del suelo, el espesor del horizonte por el que discurre el agua, y la altura del agua en el anillo interior. La tasa de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie. Normalmente la expresamos en mm/h y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo saturado.

El procedimiento es el siguiente se deberá escoger una área representativa de la parcela, posteriormente se llevará el juego de anillo, un mazo, una regla, un cronometro, y embaces con agua. Se procederá con la ayuda del mazo, a enterrar el anillo de mayor diámetro, luego

concéntricamente se coloca en centro el anillo pequeño, se sella el borde del anillo exterior con lodo para evitar la fuga de agua. Se coloca la regla en la pared del cilindro interior, se vierte agua en el cilindro exterior, y después en interior.

A continuación se empieza a cronometrar el tiempo y medir el volumen que se infiltra en intervalos previamente definidos hasta completar 3 horas. Una vez alcanzada la tasa de infiltración constante es aconsejable continuar las medidas hasta tener la absoluta certeza de que el agua está circulando por un mismo horizonte. Debido a la elevada variabilidad de los suelos y a los posibles errores asociados al método será necesario realizar más de una medida; en cualquier caso, para estar seguros de que todos resultados de las pruebas son correctos deberán contrastarse con otras propiedades del suelo determinantes del movimiento del agua en el suelo como la textura, la estructura, el contenido en materia orgánica, etc.

Para calcular la conductividad hidráulica del suelo en condiciones de saturación a partir de las medidas obtenidas durante la experiencia se elaborará una tabla de resultados. Se deberá incluir tantas series como número de veces se haya tenido que rellenar el anillo interior hasta comprobar que la tasa de infiltración se ha estabilizado.

3.1.5. Calibración del TDR y la sonda Watermark.

(a). Calibración del TDR

El método de determinación a través del TDR estima el contenido de agua en base a la K_a (constante dieléctrica) utilizando una ecuación polinomial TRACOM, 2010. Sin

embargo, se deberá realizar la graduación *in situ*, que culmine en función individual de calibración para cada tipo de suelo. Con el objeto de calibrar la sonda TDR-300, para que pueda ser utilizada en el seguimiento progresivo del contenido de humedad del suelo, en cada parcela de tomate industrial.

Para la estimación del contenido volumétrico de humedad del suelo, se deberán registrar los datos de K_a (constante dieléctrica) del suelo emitidos por la sonda TDR-300, para los puntos de muestreo, al igual se tomara muestras para determinar la humedad gravimétrica en el laboratorio y así poder correlacionar las medidas con las del TDR.

Para lograr esto necesitamos disponer de una serie de materiales tales como: TDR, horno eléctrico, balanza, recipientes para toma de muestras o bolsas platicas, libreta de anotaciones, lápiz, etiquetas, marcadores.

Se requerirá del registro de una serie de valores de humedad del suelo por medio de dos parámetros proporcionados por el TDR-300, que deberán ser W_c que corresponde a porcentaje de humedad volumétrica (% HV) registrada por el TDR. Estos datos obtenidos por el TDR, deberán ser comparados con el % de humedad gravimétrica (%HG) del suelo obtenido en horno eléctrico. La mejor manera que se ha encontrado para esto es esperar la acumulación de suficiente humedad en el suelo después de algunos eventos de lluvia continuos para obtener los valores máximos de humedad. El monitoreo continuo de la humedad por medio del TDR permitirá la determinación de las disminuciones de humedad y ante la aparición de humedades distintas a las ya tomadas se procederá a la toma de muestras.

Los valores obtenidos por sonda TDR-300 y los obtenidos a través del método gravimétrico, deberán ser representados en un diagrama de dispersión con puntos de coordenada (x, y) a dos ejes perpendiculares entre sí, señalando una línea de tendencia en función lineal o cuadrática o la que mejor ajuste. Luego se deberá aplicar el análisis de correlación y posteriormente se deberá determinar la ecuación o función polinomial correspondiente, para la predicción de los valores de humedad gravimétrica (%HG), a partir de los valores emitidos por TDR (% HV y el periodo).

Los pasos a seguir deberán ser los siguientes:

- 1) Establecimiento de una parcela de terreno de 2 m x 2 m en el tipo de suelo en el que se desea hacer la calibración.
- 2) Monitorear la humedad del suelo por medio del TDR. Las lecturas serian realizadas en dos unidades: el periodo y porcentaje de humedad volumétrica (%HV)
- 3) A cada lectura del TDR se realiza un muestreo de suelo para determinación de %HG.
- 4) Los valores fueron agrupados de dos en dos. %HG y Periodo, %HG y %HV.
- 5) Para cada serie de valores se construirá la gráfica de calibración %HG vs Periodo y %HG vs %HV.
- 6) De la misma manera se construirá el modelo matemático que relacionara cada serie de valores.

(b).Calibración de La sonda Watermark

Sin necesidad de calibrar es posible establecer los límites de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y/o humedad mínima aceptable que son los valores necesarios para establecer la estrategia de riego. Lo que si se debe hacer es determinar los límites de Capacidad de Campo, Punto de Marchitez y el de sobresaturación para cada suelo que se desee establecer una parcela de tomate industrial y correlacionar las lecturas de sonda

Watermark® con dichos puntos a fin de saber en qué momento el suelo necesita de riego y cuando es necesario suspender el riego.

El medidor portátil del sensor Watermark® mide la tensión de la humedad del suelo en un rango de 0 a 199 kp. La tensión debe ser interpretada cuidadosamente de acuerdo a las propiedades del suelo, principalmente la textura del suelo al igual que contenido de materia orgánica. Por ejemplo una lectura de 10 kp puede corresponder a la capacidad de campo en suelos de textura gruesa (arena), mientras que 30 kp pueden corresponder a la capacidad de campo en suelos de textura más fina (limosos, arcillosos). Las lecturas altas en el medidor indican que el suelo se está secando. Por lo tanto una lectura de 75 kp puede corresponder a un déficit de 90 por ciento para suelos de textura gruesa, pero solamente de 30 por ciento para suelos de textura fina. Por esta razón es recomendable calibrar los sensores Watermark® a cada tipo específico de suelo (Enciso, Poster y Pèriès, 2007).

Dicha calibración consiste en correlacionar los valores dados por los sensores Watermark con los valores correspondiente a la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente y tratar que el riego no exceda la capacidad de campo al punto de llegar a la sobresaturación del suelo, ni sea tan deficitario hasta llegar al punto de marchitez permanente, esto debe hacerse para cada suelo específico. De manera general para el caso del tomate industrial las tenciones recomendadas se ubican en el orden de 60 a 150 kp.

3.1.6. Encuestas

Para conocer la realidad que se desarrolla al momento aplicar riego al tomate industrial, se realizó una encuesta cerrada a los productores de tomate a continuación se describe la fórmula para poblaciones finitas y muestreos aleatorios al azar de Münch, para determinar número de encuestados.

$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{N \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot q}$ en donde:

$Z=1.96$ corresponde al nivel de confianza del 95%.

N =es el universo

p y q probabilidades complementarias de 0.5.

e =error de estimación aceptable para encuestas oscila entre 2 y 10%.

n = tamaño de la muestra.

De los datos de la encuesta realizada a los productores de tomate industrial, se llegó a la conclusión de los productores, no saben cuándo es el momento adecuado para aplicar el riego, ni cuando es el momento para suspenderlo. Ya que existe un desconocimiento de la

humedad en el campo en el momento que se aplica el riego y en momento que suspende el riego, y la frecuencia adecuada, puesto que no se lleva a cabo un monitoreo adecuado de la humedad en el campo. De la encuesta se rescata algunos puntos que se consideran de relevancia y ayudan a ver la panorámica de una manera más concreta.

De la totalidad de los productores de tomate industrial, el 100% de ellos dice realizar análisis de suelo. Pero el 100% desconoce su utilidad, ya que no saben las implicaciones de algunos parámetros que en análisis de suelo se reflejan como lo son: textura, el contenido nutricional del suelo y además desconocen otros concepto como la capacidad de campo y el punto de marchites permanente. En cuanto al tiempo de riego la encuesta reflejó una disparidad en el tiempo de riego que se le da a la parcela de tomate, y que se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Tiempo de riego efectuados por los productores de tomate industrial

Porcentaje de encuestados	Horas de riego realizadas por igual sin considera las etapas fenológica cultivo	Horas de riego al inicio	Horas de riego durante el desarrollo	Horas de riego al final
8.33%	2 a 3			
8.33%		3 a 4		5
16.66%		2 a 3		4
25%		2 a 3		5
16.66%		5 a 6	2 a 3	5
8.33%		5 a 6	3	5
8.33%		2 a 3		4 a 5
8.33%		5	2 a 3	5

Fuente: Encuesta a productores de tomate de la provincia de Los Santos

En cuanto a la frecuencia de riego el panorama no dista de ser igual de dispar, la encuesta refleja que el 58.33% aplica con una frecuencia de 2 a 3 o 4 veces por semana, 41.66% aplica con una frecuencia de 2 a 3 veces por semana.

3.1.7. Propuesta para la puesta en marcha del proyecto

Para la puesta en marcha de este proyecto se propone que se vincule o involucre, a diferentes entidades tanto estatales, como privadas o cualquiera entidad que sin fines de lucro quisiera colaborar. Así por ejemplo empresas privadas como Nestlé Panamá, como la principal compradora de la producción tomatara de Panamá, podría hacer importantes aportes en el proyecto, al ser esta la que mantiene una relación directa con los productores, al ser estos últimos los proveedores de la materia prima que la compañía Nestlé demanda. Esta estrecha relación entre productores y empresarios, permitiría trazar líneas de acción más convenientes para los intereses tanto de productores como empresarios.

La compañía Nestlé Panamá, delimitaría los estándares de calidad de producto, que los productores deberán producir y luego ofertar a la empresa. Los productores por su parte maximizarán los factores de producción con el fin de cubrir la demanda, con los niveles de producción, calidad requerido y a precios competitivos para ambos. Para lograr esto se deberá aumentar la producción y la productividad de cada productor de tomate, que provee de materia prima a la fábrica. Esto se propone que se logre dándole un manejo integral al cultivo

de tomate industrial, desde el inicio con el planeamiento del mismo proyecto de cada productor, pasando desde establecimiento del cultivo, cosecha y comercialización.

En la etapa de planeamiento la empresa podría colaborar con el productor guiándolo a través de sus técnicos, a manera de que el productor pueda realizar un correcto planeamiento del cultivo. En lo que respecta al manejo del cultivo, al igual la empresa podría brindar sus aportes con los técnicos de campos con los que ellos cuentan y aún más importante aporte sería la garantía de la compra de la cosecha a volúmenes, calidad y precios convenientes y justos para ambos. Por su parte los productores, les corresponde llevar adelante y a feliz término la producción de tomate en el campo siguiendo los lineamientos técnicos recomendados y asistido por los técnicos de la empresa.

La producción de tomate industrial además de la asistencia técnica de la empresa y del trabajo de los productores, demanda la implementación de nuevas técnicas que ayuden al productor a sobrepasar los actuales rendimientos obtenidos en el campo, toda vez que el potencial del cultivo en T-8 según el IDIAP sobrepasa las 68,000 Kg por hectárea y según datos recabados por la encuesta realizada a los productores e información suministrada por MIDA, ronda en promedio de los 39,361.41 Kg por hectárea. Siendo esta cifra muy por debajo al potencial del cultivo.

Si bien es cierto tanto productores como empresarios pueden implementar nuevas técnicas en los campos de cultivo e incluso poner en marcha programas de investigación y desarrollo. Pero para el caso de Panamá, la investigación formal recae sobre los entes estatales acreditados para tal fin, bien lo realicen de manera directa o facilitando los resultados de

investigaciones realizadas por otras entidades no estatales las cuales se les haya supervisado sus investigaciones. Cual fuera el caso que se presentara, lo cierto es que será el estado mediante el IDIAP o la Universidad De Panamá, a los que les corresponderá realizar las investigaciones o al menos validarlas para tratar de incrementar la producción y productividad del tomate industrial. Por tal razón, se propone que se vincule al estado en este proyecto para que este sea el garante de que las investigaciones se realicen de la mejor manera.

Se pretende en este proyecto orientar los esfuerzos precisamente en un área dentro del componente de proceso productivo, donde la investigación ha sido más incipiente, pero no por ende menos importante, esto referente al manejo hídrico de cultivo. Pero donde se han quedado rezagados los esfuerzos es en el manejo hídrico del cultivo. Hoy en día el productor tomatero a ciencia cierta no sabe cuándo es el momento propicio en que se debe regar, ni cuándo debe suspender el riego, no sabe qué tiempo, ni la cantidad adecuada y otros muchos parámetros importante en el manejo de riego. Esto se vio reflejado en la reciente encuesta realizada a productores de tomate industrial del área de Azuero. Quizás lo más importante y que guarda relación con los objetivos de este proyecto, que es la determinación de las necesidades de irrigación del tomate industrial, es que los productores de tomate industrial del área de Azuero desconocen la manera correcta de aplicar el riego en el cultivo de tomate industrial.

Si verdaderamente se quiere incrementar la producción y la productividad de nuestros productores de tomate, se debe actuar en resolver el problema del manejo correcto del riego. Por tal razón se propone para lograr esto, se trabaje en colaboración con el personal técnico

de la compañía Nestlé Panamá, o los funcionarios del MIDA, o ambos, y que a través de ellos se logre capacitar a los productores.

Pero para lograr la transferencia de la tecnología a los productores, se deberá capacitar a los técnicos del MIDA, y los técnicos de la compañía Nestlé Panamá, para que estos puedan prestar el servicio a los productores y capacitarlos en el manejo del riego. Para que esto se logre dicha capacitación se realizará a través de los investigadores de IDIAP o de la Universidad de Panamá. Preliminarmente, se deberá visitar junto con los técnicos del MIDA y Nestlé, cada uno de los productores, para así levantar una base de datos con información sobre cada uno de sus proyectos. En particular, se deberá tomar muestras de suelo para analizar su fertilidad, al igual se deberá hacer pruebas de infiltración, densidad aparente y de ser posible caracterizar el mismo suelo en sí. Una vez recabado esta información se procederá a calibrar para cada parcela o para cada tipo de suelo que contenga esa parcela cada aparato a saber el TDR, y la sonda Watermark.

Luego de calibrar los aparatos, se determinara cual es el más adecuado para su uso en cada parcela en particular, atendiendo parámetros como la facilidad con el técnico encargado que pueda obtener la información útil que le permita recomendar acciones a los productores que le permitan tomar una decisión en cuanto al riego. Igualmente se tomará en cuenta el costo de los aparatos, mantenimiento y reparación.

Las capacitaciones propuestas se realizarán en una primera etapa teórica, bien sea en las instalaciones del IDIAP, o en la Universidad de Panamá, en esta capacitación se tratara de dar a conocer los fundamentos técnicos de los aparatos a emplear ósea el TDR y la sonda

Watermark con su respectivo lector y se le enseñará a medir con los aparatos la humedad del suelo y determinar cuál es el rango adecuado para la aplicación del riego y cuándo se deberá suspender. Con esto los técnicos del MIDA, de la compañía Nestlé Panamá, o productores que hayan demostrado cierto destreza en el manejo del equipo podrán determinar cuándo regar y cuándo suspender el riego. Complementariamente se capacitará a los técnicos sobre otros parámetros básicos como lo son el muestreo de suelo y toma de muestras para determinar la calidad de agua de riego.

En una segunda etapa se procederá a capacitar técnicos del MIDA, de la compañía Nestlé Panamá, o a productores que hayan demostrado cierta destreza en el manejo del equipo a utilizar, los aparatos en el mismo campo.

Para ello se propone que los aparatos se lleven a los campos de productores, con el fin que los técnicos adquieran las destrezas prácticas que les permitan hacer una correcta determinación de la humedad y así poder recomendar la aplicación y suspensión del riego cuando lo amerite verdaderamente el cultivo.

Una vez realizada la capacitación se procederá a transferir esta tecnología a los productores o a cualquiera otra entidad que se disponga a prestar el servicio del monitoreo de la humedad en los campos tomateros. También se contempla la posibilidad que estos servicios lo pueda ofrecer la compañía NESTLÉ a través de sus técnicos o el mismo estado a través de los técnicos del MIDA o la Universidad de Panamá.

Y por último se procederá a evaluar los resultados y hacer las correcciones pertinentes si fuera el caso, a fin de que brinde un servicio de calidad y utilidad para los productores

tomateros que redunde en el incremento de producción, la productiva y calidad de producto ofertado. Dicha evaluación deberá ser hecha por todos los entes estatales y privados involucrados en el proyecto.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo, L; Villarreal, J. 2013. Clasificación de suelo de Panamá. Soil Survey Taxonomy. IDIAP (Instituto de investigación agropecuaria de Panamá). Divisa, PA. Ediciones y publicaciones. Escala 1cm= 70 Kms. Colores (Indican los diferentes tipo de suelo).
- Aguilera, V; Guerra, J 2009. Manual Técnico Manejo Agronómico Del Tomate Industrial. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Panamá, 2009. Panamá, PA, departamento de Ediciones y Publicaciones. 52p.
- Bertsch, F.1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Centro de investigaciones Agroquímicas. Facultad de Agronomía- Universidad de Costa Rica. Publicado Asociación costarricense de la ciencia del suelo. 1 ed. San José, CR. 157p.
- Bravo, M; Serratos, B; Fregoso, L; Medina, L.2009. Evaluación empírica de la reflectometría de dominio temporal para estimar la humedad en dos suelos de origen volcánico. Terra Latinoamericana (en línea) 2009, no.27 (3)(julio-septiembre).171-176. Consultado el 24 de diciembre de 2014. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313037001>
- Cavache, M. 2002. Manejo del agua: Principios fundamentales .In Congreso Ecuatoriano de la ciencias del suelo, (7th, Porto Viejo, EC).2003. Memoria. p 1-28. (en línea). Consultado 21 de febrero 2014. Disponible en:
<http://www.secsuelo.org/VIII Congreso/Simposios/1-%20Conferencias%20Magistrales/5-%20Manejo%20del%20agua%20%20Principios%20fundamentales%20%20>
- Enciso, J M; Poster, D; Pèriès, X. 2007. Uso De Sensores De Humedad Del Suelo Para eficientizar el riego, Universidad De Texas A&M. (en línea) Texas, US. Consultado el 17 de Agosto de 2014. Disponible en:
http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/87470/pdf_2437.pdf?...
- Florentino, A.2011. Métodos para medir el contenido de agua en el suelo. Instituto de edafología, Facultad de agronomía, Universidad Central de Venezuela. (en línea). Maracay, VE. Consultado el 23 de mayo de 2014. Disponible en:
http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_venes/article/viewFile/983/912
- IDIAP, (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá). 2007 Guía Técnica Para El Manejo Integrado Del Tomate Industrial. Panamá, A. Departamento de Ediciones y Publicaciones. 50p.
- IDIAP, (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá) 2012. Cultivar de tomate IDIAP T8, Tríptico informativo. Panamá, A. Departamento de Ediciones y Publicaciones.

IRROMETER, 2013. Watermark soil moisture sensor-model 200SS. (en línea). Riverside, California, US. Consultado el 26 de diciembre de 2014. Disponible en:

<http://www.irrometer.com/pdf/sensors/403%20Sensor%20%20Web5.pdf>

Lagunas, A. 2013. Evaluación Del Manejo Del Riego Por Medio De Sensores De Humedad Del Suelo En Un Cultivo De Tomate Para Industria. Tesis Lic. Navarra, ES:Universidad Pública De Navarra.74p (en línea). Consultado 30 de septiembre 2014. Disponible en:

<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/7165/578022.pdf?sequence=1>

López, A; Crende, P; Castelao, A. 2005. Uso del TDR en ensayos de movimiento de agua sobre columnas inalteradas. (en línea) Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. 7: 109-114 F.J. Samper Calvete y A. Paz González, 2005. Consultado 14 de febrero de 2014. Disponible en:

http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v7/c109-14 de febrero de 2014. Disponible en.

Martin, EC. 2010. Métodos para medir la humedad del suelo para la programación del riego ¿cuándo? De la publicación de la Extensión Cooperativa de La Universidad de Arizona.1-8p. Arizona, US. Consultado el 21 de febrero de 2014. Disponible en:

<http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1220S.pdf>

Martínez Fernández, J; Ceballos Barbancho, A. 2001. Diseño y validación de una sonda TDR para la medición de la humedad del suelo. (en línea) Salamanca, ES. Departamento de Geografía, Universidad de Salamanca. Cervantes, 3. 37002-Salamanca. Consultado 14 de febrero de 2014. Disponible en:

http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/temas_de_investigacion_v5/10.pdf

MIDA, (Ministerio de Desarrollo Agropecuario),2013. Cierre agrícola 2011-2012. (en línea).Santiago, PA. Consultado 17 de agosto de 2014. Disponible en:

www.mida.gob.pa

MIDA, (Ministerio de Desarrollo Agropecuario) 2014.Cierre agrícola 2012-2013.(en línea).Santiago, PA. Consultado 17 de agosto de 2014. Disponible en:

www.mida.gob.pa

Medrano, H; Bota J; Cifre J; Flexas J., Ribas-Carbo M; Gulias, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Grupo de Biología de las plantas Universidad de Alicante. 63- 67 p. (en línea). Alicate, ES. Consultado el 24 de julio de 2014.Disponible en:

http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/10196/1/IG_43_04.pdf

Peregüez, O E. 2011. Respuesta Fisiológica Del Tomate UNAPAL-MARAVILLA, a Diferentes Laminas De Riego Y Su Efecto En La Absorción De Nutrientes. Tesis M.Sc. Palmira, CO: Universidad Nacional De Colombia Sede De Palmira. 131p. (en línea). Consultado 9 de junio de 2014. Disponible en:

<http://www.bdigital.unal.edu.co/6496/1/7008505.2011.pdf>

Ramos, A. 2007. Historia De Los Productores De Tomate Y Cebolla En Nata: 1960-1990. Tesis Lic. Panamá, PA: Universidad De Panamá. 137p (en línea). Consultado 20 de julio de. 2014. Disponible en:

<http://www.sibiup.up.ac.pa/bd/captura/upload/9728705r14.pdf>

Rincón, L. 2003. La Fertirrigación Del Tomate Y El Pimiento Grueso. (en línea) Vida Rural. mar. 36-40. Consultado 9 de junio de 2014. Disponible en:

http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_vrural%2FVrural_2003_164_36_40.pdf

Sánchez, JM. 1995. Nuevas tecnologías para el control y muestreo de la zona no saturada. (en línea) Estrasburgo, FR. Centre d'Études et de Recherches Eco-Géographiques Consultado 14 de febrero de 2014. Disponible en:

http://bscw.rediris.es/pub/nj_bscw.cgi/d433809/c02_p33_49.pdf

Specmeters, 2012. Lector de sensor de suelos, Manual del producto. Modelo 6465. (en línea). Plainfield, Illinois, US. Consultado el 26 de diciembre de 2014. Disponible en:

http://www.specmeters.com/assets/1/22/6466_Soil_Moisture_Sensor_Reader_Torres.pdf

TRACOM, 2010. Medidor de Umidade do Solo TDR300. Manual do Usuário Catálogo # 6430FS. (en línea). BR. Consultado el 20 de diciembre de 2014. Disponible en:

<http://tracom.com.br/novo/manual/9.pdf>

5. ANEXOS

Universidad de Panamá

Centro Regional Universitario de los Santos

Programa de Maestría en Producción Agrícola Sostenible

Encuesta a Productores de Tomate de la Provincia de Los Santos

Objetivos: Recopilar información referente al manejo del riego en el cultivo de tomate industrial, por parte de los productores de este rubro.

Fecha: _____

Datos de Productor:

Nombre del Productor: _____

Lugar de Residencia: _____

Datos de la Parcela:

Ubicación de la Parcela: _____

Superficie del Terreno: _____

Pendiente o Topografía: _____

Tipo de Drenaje: _____

Datos del Suelo:

Análisis de suelo: _____

Textura: _____

Densidad Aparente: _____

Densidad Real: _____

Capacidad de Campo: _____

Punto de Marchites: _____

Porosidad: _____

Figura 3 Formulario de Encuesta

Datos del Cultivo:

Variedad: _____

Ciclo: _____

Densidad (Marco de la Plantación): _____

Rendimiento: _____

Datos del Agua de Riego:

Fuente (Subterránea o Superficial): _____

Disponibilidad (Propia, Alquilada, de concesión u otra): _____

Calidad del Agua: _____

Otros Datos que Tenga el Productor sobre el agua de Riego que Tenga el Productor:

Método de Riego:

Tipo de Riego:

Superficial: _____; Localizado (Goteo): _____

-Tipo Manguera: _____

-Diámetro de la Manguera: _____

-Densidad de Gotero: _____

% de Humedad: _____

Equipo de Bombeo: _____

Manejo de Riego:

Tiempo de Riego: _____

Frecuencia de Riego: _____

Lámina de Riego: _____

Coeficiente de uniformidad: _____

Estudio de la Eficiencia del Riego: _____

Fertirrigación: _____

Cuadro 5. Datos de lecturas del TDR, efectuadas en París de Parita

Calculo de Humedad						
		Peso cartucho	2.24			
Fecha	N° de muestra	PSH+C	PSS	TDR		
				Periodo	%WV	% HG
18-12-14	1	121.88	99.08	3490	23.5	20.8
18-12-14	2	96.14	78.21	3420	23.2	20.1
18-12-14	3	142.33	114.7	3530	24.9	22.1
22-12-14	4	80.77	67.54	3260	17.3	16.3
22-12-14	5	94.76	78.7	3300	17.9	17.6
22-12-14	6	109.88	91.2	3300	18.4	18
26-12-14	7	93.53	78.97	3230	16.7	15.6
26-12-14	8	97.8	82.9	3180	15.1	15.3
29-11-14	9	81.76	68.1	3240	17.0	16.8
29-12-14	10	121.19	104.47	3050	12.7	13.9
29-12-14	11	128.53	110.25	3120	13.4	14.5
29-12-14	12	79.72	67.19	3010	12.2	15.3
02/01/2015	13	186.8	163.86	2860	10.4	12.6
02/01/2015	14	121.42	106.97	2790	9.6	11.4

PSH+C = Peso del suelo húmedo más el cartucho

PSS = Peso del suelo seco

Periodo = Lectura del TDR, que sirve para generar gráficas.

% WV = Porcentaje de humedad volumétrica

% HG = Porcentaje de humedad gravimétrica

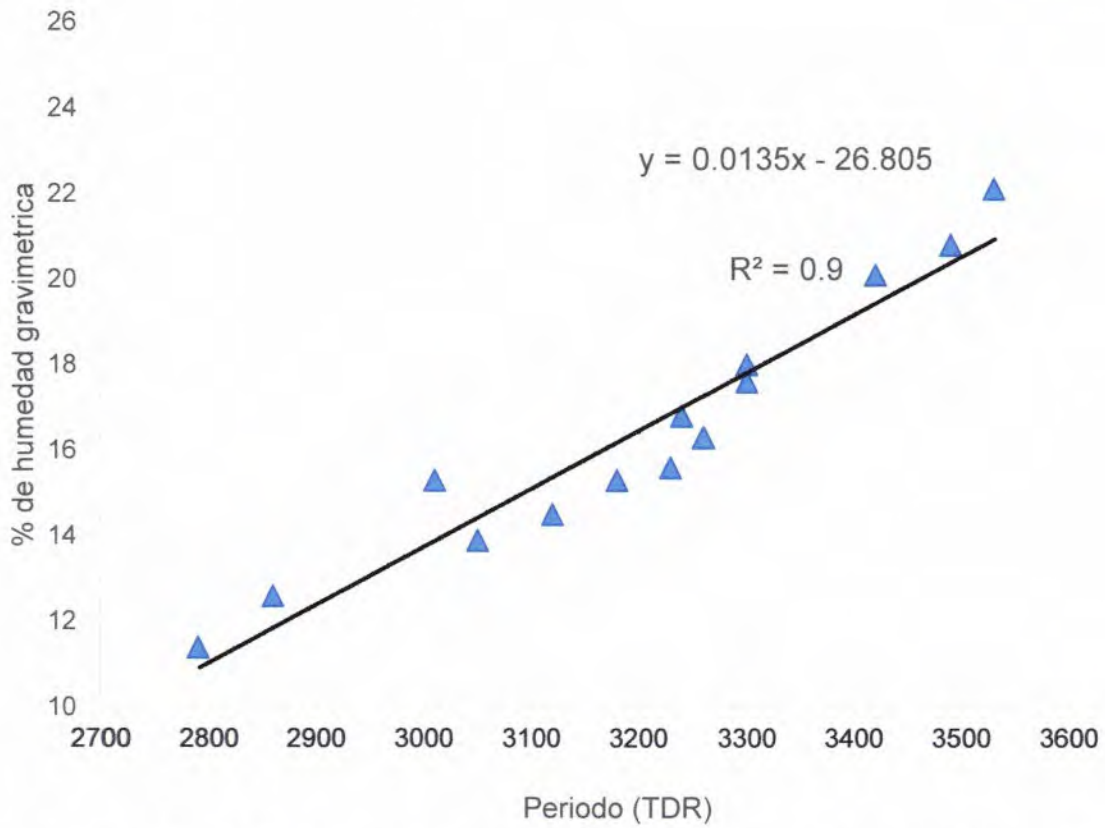


Figura 4 Grafica del % de humedad gravimétrica versus el periodo registrado con el TDR en París de Parita

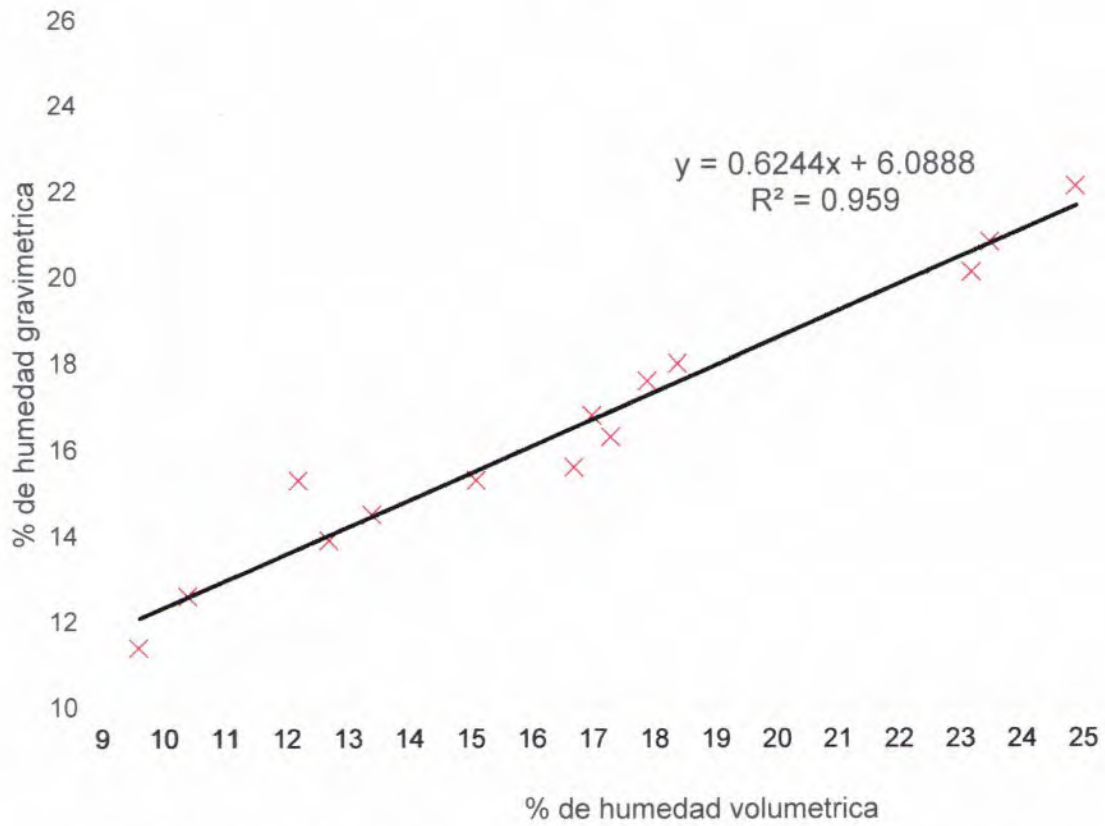


Figura 5 Grafica del % de humedad gravimétrica versus la humedad volumétrica registrado con el TDR en París de Parita