



---

---

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POR EL  
CULTIVO DE PAPA CON EL MÉTODO DE LA  
COVARIANZA EDDY.**

**POR:**

**Enrique Eduardo Moreno Ramón**

**T E S I S**

**Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Noviembre de 2007**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO  
NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POR EL CULTIVO DE  
PAPA CON EL MÉTODO DE LA COVARIANZA EDDY**

Por:

**ENRIQUE EDUARDO MORENO RAMÓN**

**TESIS**

Que Somete a la Consideración del H. Jurado Examinador  
como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor Principal

---

Dr. Alejandro Zermeño González.

Asesor Externo

---

M.C. J. Alexander Gil Marín Dr. Juan P. Munguía López.

Coordinador de la División de Ingeniería

---

Dr. Raúl Rodríguez García.

Buнавista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2007

## **AGRADECIMIENTOS**

*A “Dios” todopoderoso, doy las gracias por la vida, por el deseo de superarme día a día, por que sin su presencia nada soy, el estuvo todos los días hasta llegar al final de mi carrera y seguirá estando, gracias señor por ser mi amigo, mi confidente, por darme todo lo que tengo, una familia hermosa, por tantas pruebas que me has puesto que me han hecho mejor ser humano, nunca podre compensar tanta dicha.*

*A mi querida “alma mater”, a la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** la llevo tatuada en el corazón, por darme la oportunidad de superarme de convertirme en un Ingeniero, gracias por acogerme en tus aulas, laboratorios, departamentos, no tengo como agradecerlo si no siendo un verdadero buitre.*

*A mis padres que tanto sacrificio han hecho por mí, por sus desvelos, por sus preocupaciones, por tanto apoyo incondicional, sin ustedes nada de esto sería posible, los amo son los mejores.*

*Al Dr. Alejandro Zermeño por haberme permitido realizar este trabajo, gracias por sus enseñanzas, por su dedicación y esmero.*

*A mis asesores Dr. Juan P. Munguía y M.C. J. Alexander Gil quienes me ayudaron, me asesoraron y me enseñaron tanto en la realización y revisión de este trabajo.*

*A Todos los maestros del departamento que me dieron muchas enseñanzas y apoyo cuando más lo necesite; MC. Gregorio Briones, Dr. Raúl Rodríguez, Dr. Javier de Jesús Cortez, MC. Luis Samaniego, MC. Carlos Rojas, MC. Lindolfo Rojas y MC. Tomas Reina que más que mis profesores fueron unos amigos durante mi estancia en esta Universidad.*

*A mis compañeros y amigos entre ellos mi hermano, con los que compartí tantas cosas buenas durante mis estudios; Benjamín Moreno, Teofilo Zubieta, Eduardo Ríos Cruz, Antonio Flores, José Luis López, Nicolás Ayala, los cuates, solo me queda agradecerles por su tiempo, por su amistad, por su confianza, por los alegres y tristes momentos que compartimos y las lecciones aprendidas.*

## **DEDICATORIA**

*A Dios, Por darme salud, fuerza y voluntad para superarme, te reconozco como único gran Señor Creador de todo y te dedico todos mis logros.*

*A los grandes Padres que Dios me Dio:*

***Ing. Enrique Eduardo Moreno Bautista***

***Profra. Flor de María Ramón García***

*Por guiarme, educarme, comprenderme, ayudarme, apoyarme, y tantas y tantas cosas que han hecho por mí, quiero darles un tributo a todo lo que han hecho por mi siendo una mejor persona, respetándolos y dándoles la dicha de tener a su primer profesionista aunque sé que con eso no pago ni la mitad de lo tanto que me han dado, los “amo”.*

*A mis abuelos:*

***Sr. Fernando Moreno Carmona***

***Sra. Leonor Bautista Álvarez***

***†Sr. Leodegario Ramón García***

***Sra. Sara Ramón***

*Por ser más que unos abuelos unos amigos que me han sabido aconsejar en momentos difíciles, porque no dejan que la familia se caiga, por ustedes tenemos la dicha de tener todo lo que tenemos.*

*Abuelito Fernando este logro también es tuyo, gracias por todo eres el mejor.*

*A mis hermanos:*

***Benjamín Fernando Moreno Ramón***

***Flor Moreno Ramón***

*Hermanitos los quiero muchísimo y disculpen todo, si algún día les falle saben que no era con la intención de herirlos y sepan que sin ustedes nada de esto sería tan hermoso.*

*A toda mi familia saben son grandiosos, gracias por todos los consejos, todas las palabras de amor y apoyo que siempre he recibido de ustedes, son algo muy especial en mi vida: Tía Tere, Tíos Leonel, Fernando, Benjamín, Miguel Ángel.*

*A todos mis primos y sobrinitos los quiero muchísimo en especial al Ing. Jorge Manuel Ruiz Moreno primo eres parte de mi inspiración, hermano mayor.*

*A mis amigos de toda la vida saben que son el complemento perfecto: Yaya, Rafa, Luz, Güerita, Chikis, Loliux, “que Viva la Familia”...*

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE CUADROS .....</b>	<b>ix</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>x</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Origen e historia de la papa .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Características botánicas de la planta .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Taxonomía del cultivo .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Requerimientos edafoclimaticos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Manejo agronómico de la papa .....</b>	<b>14</b>
<b>2.6 Importancia socio-económica .....</b>	<b>22</b>
<b>2.7 Balance de energía sobre las superficies vegetales .....</b>	<b>26</b>
<b>2.8 Método de la covarianza Eddy para la medición de flujos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.9 Antecedentes de la aplicación del método de la covarianza Eddy en cultivos agrícolas .....</b>	<b>35</b>

<b>III. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.1 Localización .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2 Clima .....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 Establecimiento del experimento .....</b>	<b>39</b>
<b>3.4 Instrumentación y mediciones .....</b>	<b>40</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Evolución de los componentes del balance de energía en días despejados .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Evolución de los componentes del balance de energía para días con nubosidad intermitente .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3 Flujos integrados para distintos días después de la siembra .....</b>	<b>53</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>VI. RESUMEN .....</b>	<b>57</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>58</b>

## INDICE DE CUADROS

### Cuadro

N°.	Página
1. Valores nutritivos de la papa por 100 g de materia fresca ..... 25	25
2. Valores integrados de flujos de calor sensible (H), calor latente (LE), radiación neta (Rn), flujo de calor en el suelo (G) y lamina de agua evapotranspirada en diferentes segmentos de tiempo, observados a diferentes días después de la siembra ..... 54	54
3. Proporción de la disipación de la radiación neta en flujo de calor sensible (H/Rn), calor latente (H/LE) y flujo de calor en el suelo (G/Rn), en diferentes intervalos de tiempo en varios días después de siembra del cultivo de Papa, Jame municipio de Arteaga, Coahuila ..... 55	55

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
<b>N°.</b>		
1.	Imagen en la cual se representan las partes botánicas de la papa .....	9
2.	Representación esquemática de los componentes de la ecuación del balance de energía, radiación neta (Rn), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE), flujo de calor en la superficie del suelo (G), almacenamiento o liberación de energía por cambios de temperatura (S) y energía usada en la fotosíntesis (PH) sobre una superficie vegetal. ....	29
3.	Sistema Eddy sobre un cultivo de Papa para mediciones de flujo de calor sensible (H) y calor latente (L) .....	43
4.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 16:00 a las 19:20 el día 225 (25 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	45
5.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 13:20 a las 19:40 el día 232 (32 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	46
6.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 14:20 a las 19:00 el día 224 (24 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	48

7.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 13:20 a las 20:00 el día 228 (28 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	49
8.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 12:20 a las 20:00 el día 233 (33 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	50
9.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 12:40 a las 20:40 el día 234 (34 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	51
10.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 15:00 a las 18:20 el día 241 (41 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	51
11.	Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 14:20 a las 22:00 el día 243 (43 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México .....	52

## I. INTRODUCCION

La Papa es el cuarto cultivo alimenticio en orden de importancia a escala mundial, después del trigo, el arroz y el maíz, actualmente en México se siembran alrededor de 67 mil hectáreas de las que se obtiene una producción aproximada de 1 millón 350 mil toneladas, mismas que permiten satisfacer las demandas del consumo interno. Corresponde al grupo de las plantas C3 y requiere de un ambiente húmedo con un buen suministro de agua para expresar su máximo potencial de rendimiento. Los estomas de esta planta están abiertos la mayor parte del día, excepto algunas horas del crepúsculo vespertino, por lo que el consumo de agua de este cultivo es muy alto. También se ha observado que niveles inferiores de 40% de humedad disponible en el suelo durante el período de tuberización producen tubérculos con menor gravedad específica, así como también desordenes internos (corazón vacío) y desuniformidad en la distribución de materia seca (Redepapa, 2007).

Uno de los problemas principales de la agricultura es el uso ineficiente del recurso agua, el desabasto y la mala calidad de la misma, por lo cual es necesario determinar el consumo de agua diario por la superficie del cultivo (evapotranspiración), y con ello mejorar la eficiencia de los riegos aplicando laminas de riego correctas y en los tiempo oportunos. Para determinar la evapotranspiración de un cultivo existen numerosas ecuaciones empíricas y

semi-empíricas que para su aplicación requieren información de estaciones meteorológicas.

Sin embargo, los datos que se requieren para aplicar estas ecuaciones muchas veces no están disponibles, corresponden a una localidad diferente a la de la zona de estudio, se generan con información que generalmente corresponde a promedios mensuales que tienen poca aplicación en la programación de la irrigación de alta frecuencia, lo que hace que se limite en gran medida la aplicación de esta metodología (Rosenberg *et al.*, 1983).

La evapotranspiración real de cultivos se puede obtener utilizando algún método micrometeorológico, como la relación Bowen o la covarianza Eddy (Pal, 1988; Stull, 1991; Verma *et al.*, 1986; Baldocchi *et al.*, 1988). De estos, la covarianza Eddy es más confiable, ya que se puede obtener los índices de balance de energía para evaluar la exactitud de la medición de los flujos de calor sensible y latente (Zermeño-González, 2001). Magliulo *et al* (2003) utilizaron el enfoque del balance de energía residual y reportaron una tasa de evapotranspiración del cultivo de Papa de hasta 7 mm/día, para condiciones de cultivo propicias.

El objetivo de esta investigación fue determinar los componentes del balance de energía a través del método de la covarianza Eddy y determinar la evapotranspiración del cultivo de papa en la región sureste del estado de Coahuila México.

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Origen e historia de la Papa**

La papa es una planta de regiones frías o montañosas, originaria de la Cordillera de los Andes de América del Sur (Sur de Chile, Perú Central-Ecuador) y de México donde se encuentra todavía en estado silvestre, aunque no se conocen datos del aprovechamiento de la planta entre los antiguos mexicanos. Como cultivo agrícola, la papa se remonta hasta el año 400 a.C. cuando las culturas indígenas de los Andes comenzaron a domesticar la planta, y donde, junto con el maíz, se convirtió en la base de su alimentación (Harris, 1978).

El cultivo de la Papa se origino en la cordillera andina donde fue consumida por más de 800 años. Más tarde los exploradores españoles llevaron la planta a Europa a finales del siglo XVI como una curiosidad botánica. En el siglo XIX fue distribuida en todo Europa, lo cual ocasiono que fuera un alimento barato y abundante para los trabajadores de la revolución industrial (CIP, 2007).

Según estudios acerca de la distribución de las primeras papas cultivadas y de las especies silvestres más parecidas a ellas, parece lo más probable que donde se cultivó la papa fue en la región del lago Titicaca, al norte de Bolivia y en las altas mesetas de la cordillera de los Andes. Según documentos

arqueológicos, las poblaciones andinas del sur del Perú y norte de Bolivia, empezaron a consumir papas silvestres 3000 a 4000 años antes de nuestra era (Alonso, 1996).

La biodiversidad de la papa no está restringida a especies cultivadas, al contrario, éstas están relacionadas con muchos grupos complejos de especies silvestres, de los cuales, unas pocas originaron papas cultivadas. El hecho real es, que la papa tiene más especies silvestres afines que cualquier otro cultivo, existen 228 especies silvestres, las cuales están ampliamente distribuidas, desde la región suroeste de los Estados Unidos (Nebraska y Colorado) hasta el extremo sur de los Andes. Existen dos centros de biodiversidad de especies silvestres, uno en la región central de México y otro en la región alta Andina, desde Perú hasta el noroeste Argentino (Hawkes, 1990).

El único centro de origen se encuentra en los Andes de América, menciona que a principios del siglo XVI, entre 1560 a 1570 después de la conquista de Perú y Chile, la papa fue llevada a España y de ahí se difundió a todo el continente Europeo, entre 1621 y 1719 se introdujo a Norteamérica transportada por emigrantes escoceses e irlandeses (Alonso, 1996).

Después de la carestía registrada durante 1745 y sobre todo en el período comprendido de 1771 a 1772, este cultivo adquirió gran auge en la dieta alimenticia del pueblo europeo. Hasta después de las primeras décadas del siglo pasado, el empleo de este cultivo tuvo un incremento significativo por todo el mundo (Cruz, 2001).

El género *Solanum* es muy vasto (alrededor de 1000 especies) y ampliamente distribuido en el mundo. Sin embargo, hay una fuerte concentración de especies en América del sur y América central. Las solanáceas tuberosas no representan más de un 10% del género *Solanum*, se conocen alrededor de 200 especies repartidas en 21 series taxonómicas (Rousselle *Et al.*, 1999).

La papa que se cultiva en México pertenece a la familia de las solanáceas (*Solanum Tuberosum* L.), esta tiene su origen en Sudamérica, donde fue domesticada y cultivada por las civilizaciones incas y pre incas, es considerada como un cultivo de alto potencial por su capacidad de producción en tiempo y superficie.

## 2.2 Características botánicas de la planta

Pertenece a la familia *Solanaceae*, género *Solanum*, especie *tuberosum*, es una planta herbácea dicotiledónea, provista de un sistema aéreo y otro subterráneo de naturaleza rizomatosa del cual se originan los tubérculos.

Las plantas de papa son C3, ello nos explica la necesidad de agua y ambiente húmedo para que expresen un máximo potencial.

Estomas Tipo papa: Estos estomas están abiertos en forma continua, excepto algunas horas del crepúsculo vespertino. En el resto del día sólo se cierran en casos de estrés hídrico. Los estomas tipo papa los encontramos lógicamente en el cultivo de la papa, pero también los poseen los ajos, las cebollas, los puerros, los repollos y un buen número de cucurbitáceas como zapallo y zapallito italiano.

El hecho de que los estomas de la papa permanezcan abiertos de forma continua, nos ayuda a explicar en parte, los descensos en los rendimientos cuando el cultivo está sometido a estrés hídrico, pues ni siquiera tienen la posibilidad de activar un mecanismo de cierre que permita reducir la pérdida de agua.

Además las plantas C3 se catalogan como poco eficientes en cuanto a la fijación de CO<sub>2</sub>, lo cual repercute en el crecimiento y en la producción de materia seca. La papa eso sí, como planta C3 presenta ventaja de que la temperatura óptima para la fijación de CO<sub>2</sub>, base para una fotosíntesis eficiente, está entre 15 a 25°C.

Varios estudios indican que las plantas C3 son las más primitivas, pues ellas no tienen especiales cualidades de resistencia a la sequía en comparación con las C4 (Redepapa, 2003)

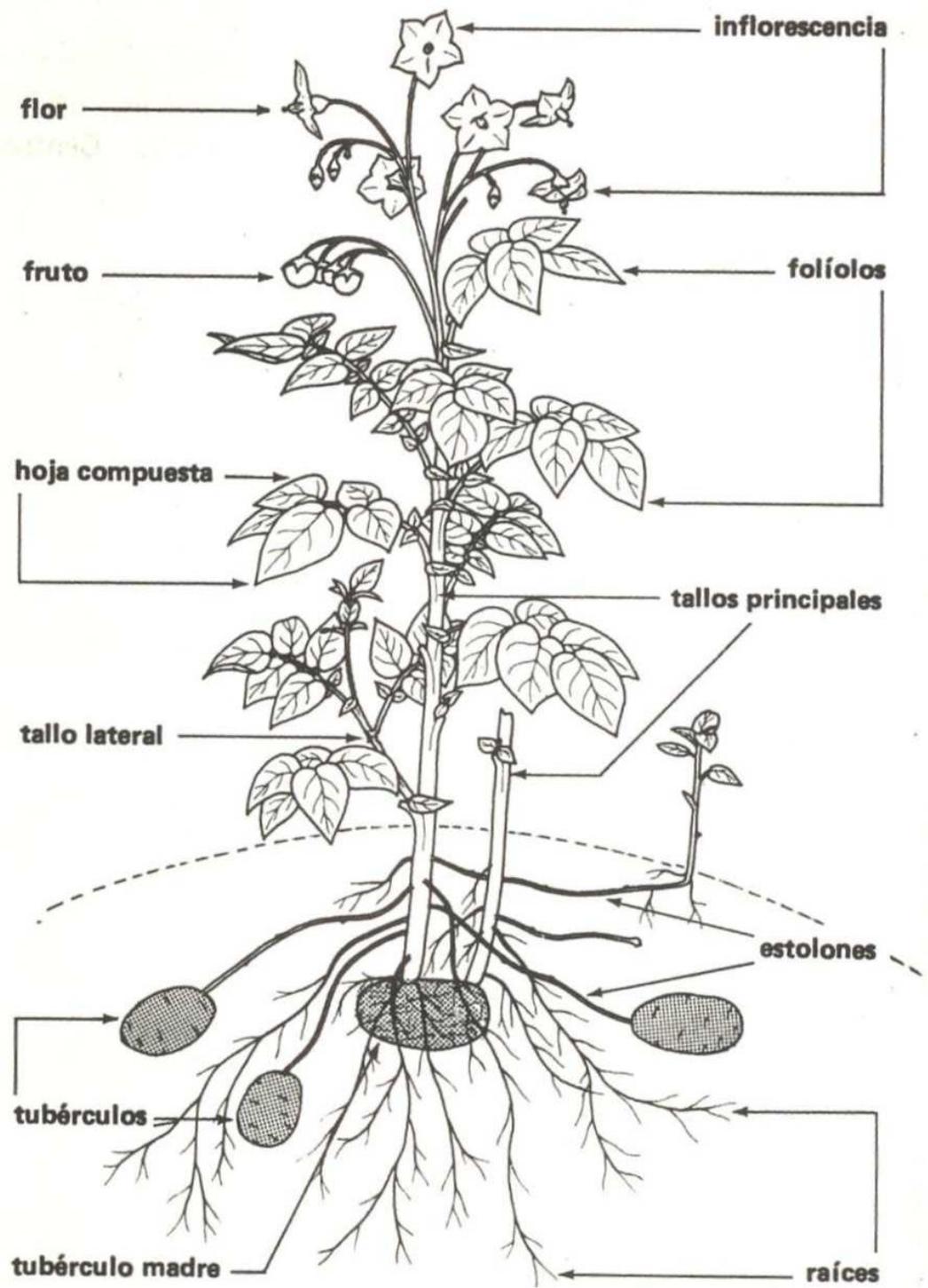


Figura 1. Imagen en la cual se representan las partes botánicas de la papa

### 2.3 Taxonomía del cultivo

La clasificación taxonómica de la papa, según (Barkley, 1973), es la siguiente:

Reino.....Metaphyta  
Phyllum.....Antophyta  
Clase.....Dicotiledónea  
Familia.....Solanaceae  
Género.....Solanum  
Especie.....Tuberosum

Nombre común: papa o patata.

**Raíces:** Fibrosas, muy ramificadas, finas y largas. Las raíces tienen un débil poder de penetración y sólo adquieren un buen desarrollo en un suelo mullido (Figura 1).

**Tallos:** Aéreos, gruesos, fuertes y angulosos. Se originan en la yema del tubérculo, siendo su altura variable entre 0.5 y 1 metro. Son de color verde pardo debido a los pigmentos antociámicos asociados a la clorofila, estando presentes en todo el tallo (Figura 1).

**Tubérculos:** Son los órganos comestibles por la gente. Están formados por tejido parenquimático, donde se acumulan las reservas de almidón. En las axilas del tubérculo se sitúan las yemas de crecimiento llamadas “ojos”, sobre la superficie del tubérculo (Figura 1).

**Hojas:** Son compuestas, imparipinnadas y con folíolos primarios, secundarios e intercalares (Figura 1).

**Flores:** Tienen corola rotácea gamopétala de color blanco, rosado, violeta, etc. Es una planta autógama, siendo su androesterilidad muy frecuente, a causa del aborto de los estambres o polen según las condiciones climáticas (Figura 1).

**Frutos:** Tienen forma de baya redonda de color verde de 1 a 3 cm de diámetro, que se tornan amarillos al madurar. (INFOAGRO, 2007) (Figura 1).

## **2.4 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMATICOS.**

### **Temperatura**

Se trata de una planta de clima templado-frío, siendo las temperaturas más favorables las que están en el rango a 13 y 18° C. Al efectuar la plantación la temperatura del suelo debe ser superior a los 7° C, con unas temperaturas nocturnas relativamente frescas (PRODUCCION VEGETAL, 2007).

El frío excesivo la perjudica, ya que los tubérculos quedan pequeños y sin desarrollar, temperaturas demasiado elevadas afectan a la formación de los tubérculos y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades.

### **Heladas**

Es un cultivo bastante sensible a las heladas tardías, ya que esto produce un retraso y disminución de la producción. Si la temperatura es de 0° C, la planta se congela y acaba muriendo, dependiendo del estado que se encuentre, aunque puede llegar a rebrotar. Los tubérculos sufren riesgo de helarse en el momento en que las temperaturas sean inferiores a -2° C.

## **Humedad**

La humedad relativa moderada es un factor muy importante para el éxito del cultivo. La humedad excesiva en el momento de la germinación del tubérculo y en el periodo desde la aparición de las flores hasta la maduración del tubérculo resulta nociva. Una humedad ambiental excesivamente alta favorece el ataque de tizones, principalmente el tardío.

## **Suelo**

Es una planta muy exigente a las condiciones edáficas, sólo le afectan los terrenos compactos y pedregosos, además de los salinos, ya que los órganos subterráneos no pueden desarrollarse libremente al encontrar un obstáculo mecánico en el suelo. La humedad del suelo debe ser suficiente; aunque resiste la aridez, en los terrenos secos las ramificaciones del rizoma se alargan demasiado, el número de tubérculos aumenta, pero su tamaño se reduce considerablemente. Prefiere los suelos ligeros o semi-ligeros, síliceo-arcillosos, ricos en humus y con un suelo profundo. Soporta el pH ácido entre 5.5-6, ésta circunstancia se suele dar más en terrenos arenosos. Es considerada como una planta semi-tolerante a la salinidad.

## Luz

La luz tiene incidencia directa sobre el fotoperiodo, ya que induce la tuberización. Los fotoperiodos cortos son más favorables a la tuberización y los largos inducen el crecimiento. Además de influir sobre el rendimiento final de la cosecha. En las zonas de clima cálido se emplean cultivares con fotoperiodos críticos, comprendidos entre 13 y 16 horas. La intensidad luminosa además de influir sobre la actividad fotosintética, favorece la floración y fructificación. (PRODUCCION VEGETAL, 2007).

### **2.5 Manejo agronómico de la papa.**

La edad fisiológica de la semilla influye en el vigor de los brotes, uniformidad del campo y productividad. La semilla vieja tiende a tener un período vegetativo más corto, pero produce plantas con menos tallos y consecuentemente menor número de tubérculos por planta; asimismo la susceptibilidad a plagas y enfermedades es mayor. Es fundamental el manejo adecuado y equilibrado de los principales nutrientes del suelo. Particularmente importante es el nitrógeno, que al aplicarse en exceso prolonga el período vegetativo y produce a la cosecha; tubérculos inmaduros, con menor gravedad específica, escaso desarrollo de la peridermis (papa 'pelona') y sin aptitud para la industria de fritura después de un período de almacenamiento prolongado, por su mayor tendencia

a acumular azúcares reductores. Tan importante como la fertilidad, lo es también la humedad del suelo, no sólo por facilitar la absorción de nutrientes, sino también por contribuir a la acumulación de materia seca en los tubérculos. Se ha observado que niveles inferiores de 40% de humedad disponible en el suelo durante el período de tuberización producen tubérculos con menor gravedad específica, así como también desordenes internos (corazón vacío) y desuniformidad en la distribución de materia seca. Si el último riego se realiza en un momento muy próximo a la cosecha, además de dificultar esta labor, dará una mayor turgencia a los tubérculos con lo que el riesgo por daños por rotura de la peridermis es mayor. La cosecha debe hacerse oportunamente, de manera que se permita a los tubérculos alcanzar su madurez fisiológica, máximo desarrollo de su peridermis y acumulación de materia seca. Una cosecha prematura produce tubérculos inmaduros, con mayor contenido de sacarosa, muy susceptibles a la pudrición blanda (*Erwinia carotovora*) y pudrición seca (*Fusarium spp*) por el mayor contenido de azúcares reductores (Iritani y Weller, 1980; Painter et al., 1975).

### PREPARACION DEL TERRENO

Es necesario que el terreno esté bien mullido, bien aireado, sin huecos y sin terrones y con los agregados homogéneos, con el objetivo de favorecer el desarrollo radicular, la emergencia rápida y homogénea y reducir los ataques de parásitos.

Se debe realizar primero una labor profunda (no deberá ser inferior a 25 cm), incorporándose el abonado de fondo, seguida de un escarificado profundo, en la que se surca el terreno dejando una distancia de 0.90 m entre surcos usualmente. La época de hacer estas labores dependerá de las características de la zona de cultivo y de la planta que preceda a la papa, si hay una rotación de cultivos.

El número de labores depende del tipo de suelo, para un tipo de textura franco-arenosa se recomienda:

- Barbecho
- Rastra
- Rastra cruzada porque se necesita suelo sin terrones para que no se altere la forma de la papa y no haya obstáculos para su crecimiento
- Nivelación, muy importante porque un encharcamiento da lugar a hongos
- Surcado a 90 cm.
- Riego de asiento y esperar a que la tierra de punto
- Sembradora de papas que pone la semilla, fungicida, fertilizante, insecticida, herbicida pre-emergente (INIFAP-SAGAR, Series 1997 y 1989).

## PLANTACIÓN

### EPOCA DE SIEMBRA

La época de plantación varía de unas zonas a otras, resultando fundamental para el éxito del cultivo. Esta decisión se basa en el estado de humedad del suelo y en su contenido en agua. Es recomendable que la plantación sea precoz en el cultivo de variedades tardías con el fin de asegurar una buena tuberización.

### PROFUNDIDAD DE SIEMBRA

La profundidad de siembra deberá estar en torno a los 7-8cm., profundidades mayores retardan la emergencia y profundidades superficiales incrementan el riesgo de enverdecimiento. La plantación se puede realizar de forma manual o mecanizada mediante plantadoras automáticas (Alonso, 1996).

### DENSIDAD DE PLANTACIÓN

Los tubérculos se colocan sobre los surcos a una distancia de 0.5-1.0 m, separándose los golpes ente 0.3-0.4 m, lo que supone una densidad de plantación aproximada entre 35,000 y 66,000 tubérculos/ha, 1000-4000 kg/ha de semilla. Esta cifra depende de la densidad de plantación y del peso del tubérculo de siembra. Si la plantación es de regadío se podrán alcanzar densidades

mayores. En países europeos como Holanda, Bélgica, etc., se siembran más de 60,000 plantas/ha., usando entre 3 y 5 toneladas de semilla (Alonso, 1996).

La elección de la densidad de plantación no tiene repercusión directa sobre el rendimiento global de la producción, aunque si la densidad es muy elevada, puede dar lugar a tubérculos más pequeños, debido a una mayor competencia por la luz, agua y nutrientes (Alonso, 1996).

### MATERIAL DE SIEMBRA

La plantación se realiza mediante tubérculos enteros o partes de éstos. Lo ideal es plantar tubérculos enteros, de tamaño superior a los 30 gramos; los tubérculos de siembra no deben trozarse más que en dos porciones con un corte limpio, en la que se obtengan dos porciones iguales tanto en tamaño como en el número de yemas (Alonso, 1996).

### FERTILIZACIÓN

La fertilidad del suelo es un factor muy importante en la producción de papas por ser este un cultivo de rápido desarrollo. La fertilidad es el resultado de un abonado racional y un buen manejo del suelo que incluye prácticas culturales, rotación de cultivos y control de la erosión. Para obtener un alto rendimiento en un cultivo de papa, los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio

del suelo deben estar dentro de unas cifras razonables y equilibradas. Por otra parte, cantidades muy pequeñas pero necesarias de micro nutrientes (azufre, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno y cloro) deben estar a disposición de la planta.

La única forma correcta de conocer los factores anteriormente citados, además de otros como puede ser la textura, materia orgánica, etc., es recurrir a un completo análisis físico-químico del suelo (Alonso, 1996).

La aplicación de fertilizante es uno de los factores que más influyen en el rendimiento final del cultivo por lo que es de gran importancia para el productor seleccionar la dosis y las fuentes apropiadas de fertilizante.

### MANEJO DEL AGUA.

Debe existir un adecuado suministro de agua durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, evitando las grandes fluctuaciones en la humedad del suelo. La humedad del suelo debe ser monitoreada mediante indicadores directos, como tensiómetros (Rowe y Secor, 1993).

Un exceso de humedad puede propiciar el desarrollo de infección por *Verticillium*. Por otra parte, inadecuados tiempos de riego ocasionan el lavado de nitratos contaminando los mantos acuíferos.

En el cultivo de papa el estatus de humedad en el suelo se vuelve crítico cuando el porcentaje de agua disponible se abate debajo de 60-65 por ciento, además cuando el 35 o 45 por ciento de la humedad disponible del suelo ha sido utilizada, se desarrolla un déficit hídrico en la planta de papa en la mayoría de los suelos (Curwen, 1993).

La precipitación o cantidad óptima de agua requerida es de 600 mm, distribuida en todo su ciclo vegetativo; las mayores demandas se dan en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo cual es necesario efectuar riegos suplementarios en los períodos críticos o cuando no se presenta lluvia.

Lámina de agua: Esta depende del suelo, la planta y de las condiciones climáticas de la zona. Requiere el conocimiento de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Es importante mencionar que la lámina debe calcularse para las condiciones específicas de la zona de producción del cultivo.

Para decidir el método de entrega del agua a utilizar, debe evaluarse la factibilidad técnica, económica y social para su elección; sin embargo los métodos de gravedad, pendientes no mayores del 2.5% o surcos en contorno con pendientes del orden del 5%, son factibles, como en el caso de surcos

rectos en terrenos planos. La papa es muy sensible a pequeños cambios en la humedad del suelo, esta sensibilidad se debe probablemente a su sistema radicular poco profundo y las respuestas fisiológicas para regular el estrés hídrico en la planta. La primera de estas respuestas es el cierre estomático como una defensa a la pérdida de vapor de agua, un prolongado estrés ocasiona el marchitamiento y pérdida de presión de turgencia. Mientras los estomas estén cerrados se reduce la pérdida de vapor de agua, esto también reduce la fijación de dióxido de carbono en la planta, disminuyendo la fotosíntesis y la producción de fotosintatos de las hojas hacia los tubérculos, el rendimiento de un cultivo de papa depende de la acumulación de productos fotosintéticos en los tubérculos. (Redepapa, 2007).

### COSECHA E ÍNDICE DE MADUREZ

La cosecha de papa se realiza en forma semi-mecánica y manual. Los indicadores de cosecha son el tiempo principalmente y la apariencia del follaje que empieza a presentar una coloración amarilla y uniforme desde las partes viejas, esto es síntoma de madurez de los tubérculos (Valadez, 1998).

Cuando empiece a manifestarse este amarillamiento, o incluso antes, se recomienda la aplicación de defoliante, y después de ello dejar transcurrir de una a 2 semanas, para posteriormente recoger los tubérculos.

## **2.6 Importancia socio-económica**

La papa actualmente es fundamental en la dieta del hombre tanto en fresco como industrializada, además se emplea como planta forrajera e industrial suministradora de alimento para el ganado y de materia prima para la industria del almidón y del alcohol. A nivel mundial sobresalen los países de China (4, 401,727 has), Rusia (3, 229,000 has), India (1, 410,000 has), Estados Unidos (516,590 has), Ucrania (1, 600,000 has), Polonia (811,979 has) entre otros, produciendo el 60% del total mundial. Actualmente en México se siembran alrededor de 67 mil hectáreas de las que se obtiene una producción aproximada de 1 millón 350 mil toneladas, mismas que permiten satisfacer las demandas del consumo interno. Los principales estados productores en cuanto a % de superficie son: Sinaloa (16.8 %), Estado de México (16.4 %), Nuevo León (8.9 %), Chihuahua (8.6%), Sonora (8.2 %), Guanajuato (7.9 %), Michoacán (7.3 %), Puebla (6.7 %), Coahuila (5.3 %), Jalisco (4.2 %) y Veracruz (4.0 %) (FAO, 2001).

Actualmente la papa es un cultivo importante en la nutrición humana, es el cuarto cultivo alimenticio en orden de importancia a nivel mundial, después del trigo, el arroz, y el maíz. El valor nutricional de la papa ha sido ampliamente difundido en los Estados Unidos por la Administración de Drogas y Alimentos, por sus siglas en inglés, FDA (FOOD AND DRUGS ADMINISTRATION) y es obligatorio para los expendedores del producto publicar una guía de estos

valores. La papa como alimento es una fuente importante como vitamina C, hierro y complejo B. además suministra una cantidad apreciable de vitamina B6, que es un nutriente que no se consume en cantidad suficiente y está envuelto en procesos muy importantes como la formación de aminoácidos, ácidos nucleicos, glicógeno, y metabolismo de lípidos. La vitamina C, suministrada en buena cantidad por la papa, es el mejor preventivo del escorbuto; es un antioxidante que atrapa radicales libres y por lo tanto reduce las oxidaciones que aumenta los riesgos de ataques cardiacos o cáncer (Pineda, 1995).

La importancia del cultivo de la papa radica en su amplio rango de adaptación, mismos que le permiten ser cultivada donde no podrían ser cultivados cereales y leguminosas, además posee una alta capacidad de producción por unidad de superficie, su alto valor nutritivo que supera al arroz, trigo y maíz (Van der Zaag, 1990 y Horton, 1988), siendo demasiado precoz con cosechas a partir de los 60 y 80 días, pudiéndose adaptar a condiciones de riego y temporal. Además la diversidad de climas encontrados en la República Mexicana ha permitido la producción de papa para semilla, así como para consumo la mayor parte del año, lo cual significa que se puede contar en los mercados con papa fresca en cualquier época del año (Villarreal, 1987).

### IMPORTANCIA REGIONAL.

En México la tecnificación de este cultivo es muy reciente, por tal razón las producciones han aumentado, oscilando los rendimientos entre 25-30 ton/ha. En los Estados de Coahuila y Nuevo León, se siembran aproximadamente 5,500 has las cuales se encuentran bajo condiciones de riego con rendimientos de aproximadamente 30 ton/ha (Camacho, 1997).

El cultivo de la papa en México se ha extendido de las zonas volcánicas del centro (Puebla, Veracruz, Región de Pico de Orizaba y Cofre de Perote, Nevado de Toluca, Sierra Tarasca en Michoacán, Región de Malinche en Tlaxcala) a casi cada estado de la república. El dato más reciente en cuanto a la producción en México es para el 28 de Febrero del 2002 que fue de 1, 619,000 toneladas en una superficie de 68 mil hectáreas, con un rendimiento de 23 toneladas por hectárea. Del total de la producción el 81% es para el consumo humano, 0% alimentación animal, 4% semilla, 15% para el procesamiento para otros usos (FAOSTAT, 1997).

En México se registran alrededor de 49 especies hortícolas que se producen a nivel comercial. Debido a la gran diversidad de microclimas y tipos de suelos que se tienen en nuestro país, favorables para la producción de hortalizas es posible obtener hortalizas todo el año particularmente cultivos como la papa, tomate, cebolla y chile, que son los productos de mayor consumo a nivel

nacional, como en otros países. De los 12 principales productos hortícolas, de la papa se cosecha 1.21 millones de toneladas lo que representa el 11% del total de la hortalizas, solo por debajo del tomate con un 13% (Siller, 2000).

De los 22 estados que participan en la producción de esta importante cultivo; Sinaloa, Guanajuato, Edo. de México y Sonora aportan mas del 55% del total de la producción y junto con Nuevo León, Coahuila y Chihuahua registran los mayores rendimiento siendo estos de hasta 40 y 45 ton/ha (De Santiago y Palazuelos, 1999).

### VALOR NUTRICIONAL

La papa está constituida por tres partes de agua y una cuarta parte de sólidos (glúcidos, próticos y lípidos) (Cuadro 1), es un alimento relativamente equilibrado, aunque deficiente en calcio y fibras.

Cuadro 1. Valores nutritivos de la papa por 100 g de materia fresca.

<b>Agua</b> gr	<b>Glúcido</b> gr	<b>Próticos</b> gr	<b>Lípidos</b> gr	<b>Potasio</b> mg	<b>Calcio</b> mg	<b>Magnesio</b> mg	<b>Hierro</b> mg	<b>Valor Energético</b>
77.5	19.4	2	0.1	450	15	30	1	80

## **2.7 Balance de energía sobre superficies vegetales.**

El balance de energía es un parámetro fundamental que controla procesos biológicos e hidrológicos en la superficie terrestre. A gran escala, es una fuente de origen de calor latente y sensible dentro de la atmósfera. A escala más local, el balance de energía afectará la evaporación diaria y el calentamiento o enfriamiento de la capa límite atmosférica y del suelo (Oke, 1978).

La radiación neta (despreciando los términos menores) equivale a la sumatoria de los flujos de calor sensible, calor latente y flujo de calor en el suelo; siendo estos los componentes de la ecuación del balance de energía.

Estos flujos son transferencias de energía ocurridas en una superficie terrestre con vegetación y la atmósfera.

Todos los modelos de la energía superficial y del intercambio de masa se basan en los principios fundamentales de la conservación de la energía (Twine *et al.*, 2000).

El balance de energía sobre una superficie vegetal (Figura 2), puede describirse con la siguiente ecuación (Kanemasu et al 1979)

$$R_n = H + LE + G + S + PH \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

H = es el flujo de calor sensible ( $w/m^2$ ).

LE = Flujo de calor latente ( $w/m^2$ ).

G = es el flujo de calor en la superficie del suelo ( $w/m^2$ ).

PH = Energía almacenada en el proceso de la fotosíntesis.

S = Energía almacenada por cambios de temperatura en la capa (aire y follaje).

Para superficies vegetales de poca altura, se puede considerar que S y PH son muy pequeños comparados con el resto de los componentes de la ecuación, de tal forma que la Ecuación 1 cambia a:

$$R_n = H + LE + G \dots\dots\dots(2)$$

La relación directa que existe entre la temperatura de la superficie y el balance de energía ha sido ampliamente reconocida por diversos hidrólogos y meteorólogos a lo largo de los últimos años (Idso *et al.*, 1975; Monteith, 1981; Price, 1982 y 1989; Kustas y Norman, 1999).

Los flujos superficiales ( $H$ ,  $LE$ ) se pueden determinar por varios enfoques. A diferencia del método aerodinámico y el de la relación Bowen, la Covarianza Eddy es un método directo para medir los flujos superficiales, sin la necesidad de asumir coeficientes de difusiones de similitud, ni condiciones de estabilidad atmosférica (Kanemasu *et al* 1979).

$(R_n - G)$  es la energía disponible en la superficie, mientras que  $(H + LE)$  son los flujos de energía en la superficie. La Figura 2 muestra una representación esquemática de los flujos de energía en una superficie vegetal.

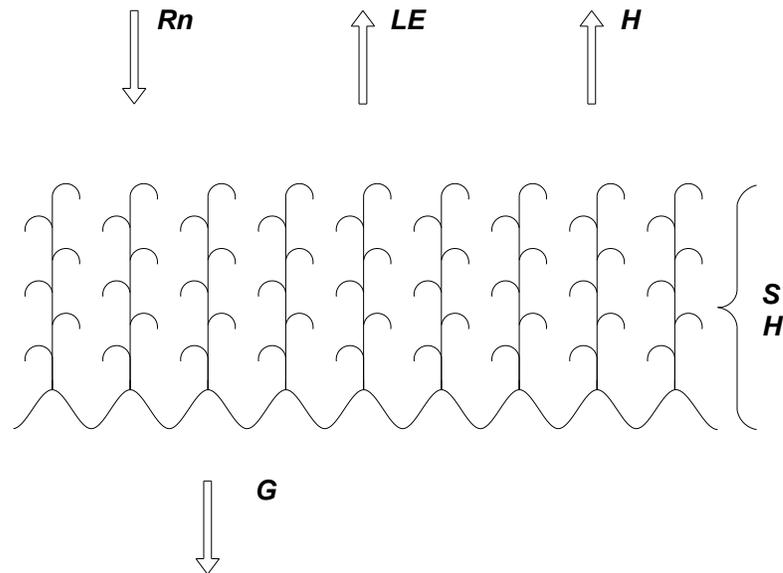


Figura 2. Representación esquemática de los componentes de la ecuación del balance de energía, radiación neta ( $R_n$ ), flujo de calor sensible ( $H$ ), flujo de calor latente ( $LE$ ), flujo de calor en la superficie del suelo ( $G$ ), almacenamiento o liberación de energía por cambios de temperatura ( $S$ ) y energía usada en la fotosíntesis ( $PH$ ) sobre una superficie vegetal.

Las medidas independientes de los componentes principales del flujo del balance energético no son a menudo constantes con el principio de la conservación de la energía. Esto se refiere como falta del cierre del balance energético superficial. La mayoría de los resultados en la literatura han demostrado que la suma de los flujos de calor sensible y latente medidos con la covarianza Eddy es menos que la diferencia entre la radiación neta y el flujo de calor en el suelo (Twine *et al.*, 2000).

## 2.8 Método de la Covarianza Eddy para medición de flujos.

El método de la covarianza Eddy para determinar los flujos de masa y energía como H, LE y Flujo de bióxido de carbono (FCO<sub>2</sub>), consiste en expresar el flujo vertical de una entidad transportada, en un determinado punto, como una covarianza entre las fluctuaciones de la concentración de esta entidad con las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento (Zermeño, 2001; Itier y Brunet, 1996).

El principio del método de la covarianza Eddy es detectar las contribuciones de todos los movimientos turbulentos responsables del transporte vertical de los flujos. Esto requiere mediciones de flujos a una frecuencia suficientemente alta (típicamente 10 – 20 Hz) y promedian las covarianzas en un periodo suficiente (típicamente 15 – 30 minutos) (Itier y Brunet, 1996).

Rosenberg, et al., (1983) indica que en flujo totalmente turbulento, el flujo vertical medio “*F*” de una entidad *s* por unidad de masa del fluido esta dado como:

$$F = \overline{\rho_a w s} \dots\dots\dots(3)$$

Donde,  $\rho_a$  es la densidad del aire,  $w$  es la velocidad vertical, y la barra superior denota el promedio evaluado durante un periodo de tiempo convenientemente largo.

En la capa superficial, todas las entidades atmosféricas exhiben fluctuaciones de corto periodo sobre su valor medio. Por lo tanto los valores instantáneos de  $w$ ,  $s$ , y  $\rho_a$  pueden ser expresados como.

$$w = \bar{w} + w' \quad ; \quad s = \bar{s} + s' \quad ; \quad \rho_a = \bar{\rho}_a + \rho' \quad \dots\dots\dots(4)$$

Donde los valores primos representan una desviación instantánea del valor medio. Estas expresiones pueden ser substituidas en la Ecuación 3 y, si descuidamos las fluctuaciones en densidad, el flujo medio vertical  $F$  se reduce a:

$$F = \bar{\rho}_a \bar{w}s + \bar{\rho}_a \overline{w's'} \quad \dots\dots\dots(5)$$

O escribiendo  $\rho_a$  por  $\bar{\rho}_a$

$$F = \rho_a \bar{w}s + \rho_a \overline{w's'} \quad \dots\dots\dots(6)$$

El primer término en el lado derecho representa el flujo debido al flujo vertical medio o a la transferencia total. El segundo término representa el flujo debido al

flujo Eddy. El término de la transferencia total puede presentarse de una convergencia o divergencia del aire debido a la superficie inclinada. Para un periodo de tiempo suficientemente largo sobre un terreno horizontalmente uniforme la cantidad total de aire ascendiente es aproximadamente igual a la cantidad que desciende y el valor medio de la velocidad vertical será insignificante (Rosenberg, *et al.*, 1983). Por lo tanto la ecuación (6) se reduce a:

$$F \approx \rho_a \overline{w' s'} \dots\dots\dots(7)$$

En principio, el método de la covarianza Eddy puede ser utilizado para cualquier proceso de transporte (Jones, 1992), pero suele ser utilizado en las mediciones de flujos de calor latente (LE), calor sensible (H) y bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Considerando nada más los flujos del ímpetu (momentum), vapor de agua, LE y H, se puede expresar para una superficie horizontal homogénea de la siguiente manera (Rosenberg, *et al.*, 1983; Zermeño, 2001; Prueger *et al.*, 1998):

Flujo del ímpetu (momentum)       $\tau = \rho_a \overline{u' w'}$  .....(8)

Flujo de vapor de agua       $E = \frac{\epsilon}{p} \rho_a \overline{w' e'_a}$  .....(9)

Flujo de calor sensible       $H = \rho_a C_p \overline{w' T'}$  .....(10)

Flujo de calor latente  $LE = L\rho_a\overline{w'q'}$  .....(11)

Donde,  $u'$  es la velocidad horizontal instantánea del aire ( $m s^{-1}$ );  $w'$  es la velocidad vertical instantánea del aire ( $m s^{-1}$ );  $T'$  es la temperatura instantánea del aire (K);  $C_p$  es la capacidad calorífica del aire ( $J Kg^{-1}K^{-1}$ );  $\rho_a$  es la densidad del aire ( $Kg m^{-3}$ );  $e'_a$  es la presión de vapor;  $\epsilon$  es el cociente del peso molecular del aire y vapor de agua  $= M_w/M_a$  y  $P$  es la presión atmosférica. Las barras horizontales superiores indican un promedio en un intervalo de tiempo y las primas denominan desviaciones de la media.

Algunos análisis recientes (Webb *et al.*, 1980; Webb, 1982) indican que los flujos turbulentos atmosféricos de componentes de menor importancia tales como vapor de agua y CO<sub>2</sub>, pueden ser influenciados por las variaciones de la densidad debido a la transferencia simultánea de calor sensible y de vapor de agua. Este efecto de la densidad puede causar una velocidad vertical media del aire muy pequeña pero diferente a cero.

El método de la covarianza Eddy, cuando se aplica correctamente, proporciona estimaciones de flujos razonablemente exactas, más que los otros métodos micrometeorológicos, encima de las superficies ásperas, por ejemplo, los coeficientes turbulentos de intercambio son grandes y por lo tanto los gradientes verticales de la temperatura y de la humedad son excesivamente

pequeños. Correspondientemente, las fluctuaciones de la velocidad vertical son absolutamente grandes. Por lo tanto, Kanemasu *et al.*, (1979) señalan que el método de la covarianza Eddy debe ser mas exacta que esos métodos basados en la medida de gradientes verticales.

En la aplicación del método de covarianza Eddy, dos puntos requieren de particular atención. En primer lugar, los instrumentos deben ser tan sensibles como para ser capaz de detectar cambios simultáneos (fluctuaciones), en cantidades tales como velocidad, temperatura y humedad causada por el paso rápido de diversos remolinos.

La frecuencia de estas fluctuaciones aumenta mientras se aproxima a la superficie. Las ventajas de este método son: mide directamente los flujos, sin la necesidad de asumir coeficientes de difusividad, ni relaciones de similitud, ni condiciones de cobertura de la superficie; permite analizar la precisión del balance de energía; es considerado el método mas preciso para medir los flujos superficiales (Zermeño, 2001; Prueger *et al.*, 1998)

## **2.9 Antecedentes de la aplicación del método de la Covarianza Eddy en cultivos agrícolas.**

El método de la Covarianza Eddy ha sido utilizado en múltiples cultivos agrícolas principalmente con el propósito de determinar la evapotranspiración real de los cultivos y la asimilación de CO<sub>2</sub>.

Zermeño, (2003) Indica que es posible utilizar la evapotranspiración a equilibrio para determinar la evapotranspiración real del cultivo en regiones agrícolas de zonas áridas, esta investigación se hizo con el cultivo del maíz (*Zea mays L.*) utilizando el método de la covarianza Eddy para determinar el flujo de calor latente.

Baldocchi y Meyers (1998) utilizaron el enfoque de la covarianza Eddy, afirmando que las variaciones en índice de área de hoja y capacidad fotosintética obraron recíprocamente para aumentar las tarifas de evapotranspiración, del bióxido y del ozono significativamente, y de una manera curvilínea, en los cultivos de papa, soya, trigo y bosque boreal templado

Cleverly *et al* (2002) reportaron que para el cultivo de la Taray catina o Tamarindo rosa (*Tamarix ramosissima*) usando el enfoque de la covarianza Eddy, la evapotranspiración real del cultivo (ET<sub>real</sub>), para diferentes laminas de

riego en un sitio a inundación y en otro normal, presento una variación hasta del 61 %, uno con respecto del otro, teniendo valores más altos de evapotranspiración en el sitio normal.

Twine *et al* (2000) mencionan que existe una variación del 10 % entre la sumatoria del Flujo de calor latente (LE) y el flujo de calor sensible (H) con respecto a la diferencia entre la radiación neta (Rn) y el flujo de calor en el suelo (G), por lo cual para que se cumpla la ley de conservación de energía se recurre al método del cociente Bowen para establecer el balance de energía.

Williams *et al* (2004) estimó las fracciones de la evaporación y de la transpiración que contribuían al flujo total de evapotranspiración (ET). La transpiración aportó el 100% del total ET antes de la irrigación, pero solamente 69-86% de ET durante los flujos máximos del mediodía sobre el período de 5 días después de la irrigación.

Rana *et al* (2005) midió la evapotranspiración (ET) de una huerta irrigada de la fruta cítrica (clementina). La transpiración (T) fue determinada por el método del flujo de la savia. Las mediciones ocurrieron en varias ramas seleccionadas de los árboles de la fruta cítrica, en este estudio la (T) diaria se midió por el método del flujo de la savia y se comparó contra la evapotranspiración medida por el método de la covarianza Eddy, con resultados muy parecidos. Además el modelo de (ET) que usa Penman-Monteith, donde la resistencia de la superficie

de la canopi se determina con variables microclimáticas estándares. Lo que demostró que las ecuaciones de Penman-Monteith no tienen aplicaciones practicas ya que la mayor evapotranspiración se reporto en la etapa de máximo desarrollo vegetativo y no al final del cultivo como se calculan con las ecuaciones.

Toda *et al* (2002) calcularon el balance de energía y la evapotranspiración total usando la covarianza Eddy sobre un ambiente tropical. El resultado indicó los valores diarios integrados de la radiación neta, calor sensible, calor latente y el flujo de calor en el suelo durante el período de la observación del julio de 1998 al febrero de 1999 fueron de  $10.76 \text{ MJ m}^{-2}$ ,  $2.32 \text{ MJ m}^{-2}$ ,  $5.18 \text{ MJ m}^{-2}$  y  $0.03 \text{ MJ m}^{-2}$  respectivamente. Los flujos sensibles y latentes del calor son los componentes dominantes del balance de energía a través del año. La diferencia estacional en los flujos superficiales entre las estaciones húmedas y secas fue observada, y el flujo latente del calor fue el dominante en las estaciones húmedas, mientras que el Flujo de calor sensible aumentó en ausencia de la precipitación durante la estación seca. La cantidad estimada de evapotranspiración fue de 526 milímetros contra 641 milímetros de precipitación real.

Magliulo *et al* (2003) reporta para el cultivo de la papa condiciones próximas a las ideales, el uso diario del agua estuvo entre  $6.58 \pm 0.12$  y  $7.22 \pm 0.14 \text{ mm/día}$ . Se utilizó por ciclo 342 mm de agua comparados con 375 mm usados por la

cosecha bajo condiciones ambiente. El ahorro total del agua a través de los años de estudio fue 11.8%. La producción más alta del tubérculo y baja de la ET conduce a un aumento substancial en productividad, entre el 67 % y 70 %.

Hui *et al* (2001) este estudio proporcionó evidencia directa de que si se utiliza el agua y la radiación más eficientemente en elevado ambiente de [CO<sub>2</sub>], por lo menos durante el período exponencial del crecimiento, experimento realizado en girasoles (*annus Helianthus gigantescas*) los cuales fueron producidos en condiciones ambiente (399 el  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) y elevados en [CO<sub>2</sub>] (746  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) por 53 días. El carbón entero y los flujos de agua del pabellón fueron medidos continuamente durante el período del experimento, con el uso de una estación Eddy. Se obtuvo una mayor eficiencia en el uso del agua y una mejor actividad fotosintética.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

La investigación se realizó en una superficie de aproximadamente dos hectáreas sembradas con Papa en la localidad de Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas del sitio de estudio son: 25° 22' N, 100° 37' O, y una altitud de 2280 m.

#### **3.2 Clima**

Registros de la Comisión Nacional del Agua (CNA) con sede en Saltillo Coahuila, indican que el clima de la región es semidesértico con lluvias en verano, la precipitación media anual es de 400 a 500 mm, y las temperaturas máximas y mínimas promedio de 31 y 10 °C, respectivamente.

#### **3.3 Establecimiento del Experimento**

La siembra se realizó el 19 de julio de 2005 (día 200 del año) y las mediciones se realizaron del 10 de agosto al 7 de septiembre del mismo año. El manejo agronómico del cultivo lo realizó el agricultor, siguiendo los criterios establecidas para la región.

### 3.4 Instrumentación y mediciones.

El flujo de calor sensible (H) y latente (LE) se obtuvieron con el método de la covarianza Eddy, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T_a'} \quad (10)$$

$$LE = \lambda \overline{w'\rho_{wv}'} \quad (11)$$

Donde:  $\rho_a$ ,  $C_p$  y  $T_a$  son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente,  $\rho_{wv}$  es la densidad del vapor de agua en el aire,  $w$  es la velocidad vertical del viento,  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua. Las variables con símbolo de prima significan desviaciones respecto a la media y la barra horizontal sobre dos variables denota la covarianza entre las variables para un determinado segmento de tiempo (20 min).

Para evaluar la precisión de los flujos (H y LE), se midió también la radiación neta ( $R_n$ ) y el flujo de calor en la superficie del suelo (G), para determinar el balance de energía en la superficie con la ecuación 2:

$$R_n - G = H + LE$$

Donde: LE es flujo de calor latente;  $R_n$  Radiación Neta; G flujo de calor en la superficie del suelo y H flujo de calos sensible; todos en  $W/m^2$ . La tasa de evapotranspiración en milímetros (mm) para el segmento de tiempo considerado se obtuvo dividiendo LE ( $MJ/m^2$ ) por el calor de vaporización del agua L ( $2.456 MJ Kg^{-1}$ ).

$$ET_{real} = \frac{LE}{L} \quad (12)$$

La velocidad vertical del viento se obtuvo con un 3-D sonic anemometer, la temperatura del aire con un termopar (chromel-constantan) de  $12.7 \mu m$  de diámetro y la densidad de vapor de agua con Krypton hygrometer (Figura 1). El flujo de calor en la superficie del suelo G se midió usando transductores de calor, enterrados a 0.08 m. La temperatura del suelo se midió usando termopares de chromel-constantan a profundidades de 0.02 y 0.06 m. Estas

mediciones se realizaron a una frecuencia de 10 Hz (10 mediciones por segundo) y las covarianzas se calcularon en segmentos de 20 min registrados en forma continua por un datalogger modelo C23X Cambell Scientific. Los flujos (H y LE) se evaluaron únicamente cuando la dirección del viento se mantuvo en un ángulo entre 120° y 240°, ya que el anemómetro sónico tridimensional se orientó hacia el sur (180°) y no se tuvo suficiente fetch en las direcciones este y oeste. El 3-D sonic y krypton hygrometer se instalaron a una altura de 1 m sobre el dosel del cultivo (Figura 1). El fetch se define como la distancia horizontal que debe recorrer el viento cuando se mueve de una superficie a otra con propiedades para que el aire logre un equilibrio con la nueva superficie. Por norma se establece que se requiere una relación de distancia horizontal respecto a distancia vertical de 100/1 (Rosenberg *et al.*, 1983). Esto significa que se requiere un fetch de 100m para colocar los instrumentos de medición a 1 m sobre la superficie vegetal para medir los flujos de masa y energía (vapor de agua, CO<sub>2</sub>, calor) entre la nueva superficie y el aire.

El flujo de calor latente diario LE (MJ/m<sup>2</sup>) se obtuvo integrando los valores del flujo de calor promedio de 20 min (W/m<sup>2</sup>) para los segmentos de tiempo con una dirección del viento aceptable, ignorando el flujo durante la noche por ser imperceptible, ya que los estomas se encuentran cerrados.



Figura 3. Sistema Eddy sobre un cultivo de Papa para mediciones de flujo de calor sensible (H) y calor latente (L).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Evolución de los componentes del balance de energía en días despejados.

El análisis de la evolución de los componentes del balance de energía a través del día durante el ciclo de cultivo, solo se hizo en algunos días ya que los demás presentan el mismo patrón observado en los demás días analizados. En días despejados, la radiación neta fue el elemento mayor de los componentes de la ecuación de balance de energía sobre la superficie vegetal, seguido por el flujo de calor latente (LE), calor sensible (H) y el menor fue el flujo de calor en la superficie del suelo (G) (Figuras 4 y 5). Se observó que LE sigue el mismo patrón de cambio a través del día que Rn. Esto sugiere que la evapotranspiración del cultivo es el principal mecanismo de disipación de la radiación neta absorbida por la superficie vegetal.

Para el día 225 del año (25 días después de la siembra, Figura 4) para el intervalo de tiempo observado H, G y Rn se hicieron negativos a partir de las 18:00 hrs, no así LE, cumpliéndose así el balance de energía pero a una escala muy pequeña, lo que nos sugiere que aun a esa hora del día el cultivo sigue evapotranspirando pero en una pequeña proporción.

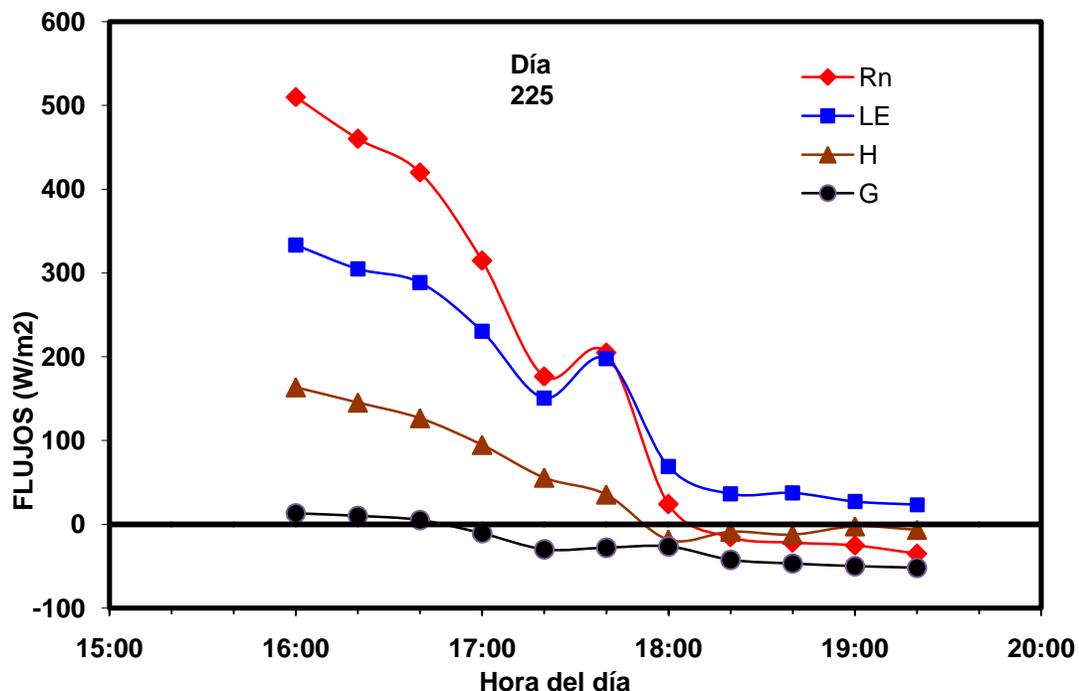


Figura 4. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 16:00 a las 19:20 el día 225 (25 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

Para las condiciones del día 232 del año (32 días después de siembra) (Figura 5) la evolución de los componentes del balance de energía siguen la misma tendencia que la Rn, siendo de nueva cuenta el principal mecanismo de disipación de la Rn el Flujo de calor latente. El flujo de calor en el suelo (G) fue negativo a partir de las 18:00 horas, G negativo indica que el calor fluye del interior del suelo hacia la superficie.

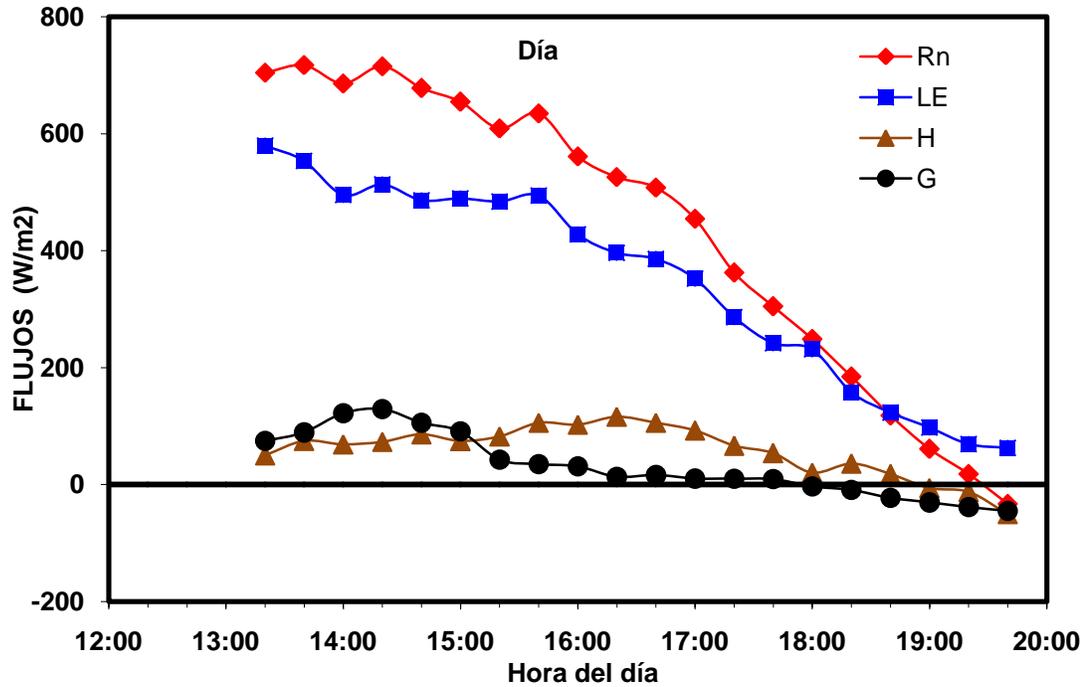


Figura 5. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 13:20 a las 19:40 el día 232 (32 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

Las graficas no se muestran para todo el día ya que solo se realizaron para las horas del día con la dirección del viento adecuado (120° a 240°), de lo contrario estaríamos evaluando flujos que no corresponderían al cultivo.

## **4.2 Evolución de los componentes del balance de energía para días con nubosidad intermitente.**

En días nublados o con nubosidad intermitente, LE fue también el segundo elemento mayor después de Rn, y seguido por H y G (Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11). Nuevamente se observó que LE siguió aproximadamente el mismo patrón de cambio a través del día que Rn. El flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor en el suelo (G) fueron pequeños comparados con LE. Esto nuevamente demostró que la evapotranspiración del cultivo fue el principal mecanismo de disipación de la radiación neta absorbida por la superficie vegetal. Lo más significativo para este estudio son las horas del día entre las 13:00 y las 16:00 cuando ocurrieron los valores más altos de Rn y por consiguiente la mayor evapotranspiración del día (Figura 7, 8, 9, 10 y 11).

En el día 224 (Figura 6) fue un día muy intermitente en cuanto a la radiación neta (Rn) se refiere, lo que repercute directamente en los demás flujos, ya que el flujo de calor latente LE y sensible H siguen el mismo patrón. Pero esto no quiere decir que la tasa de evapotranspiración para estos días disminuye, ya que se observaron tasas aun mayores en algunos casos en días intermitentes (día del año 234 y 233) que en días despejados, debido a que cuando la nube deja de hacer sombra la radiación neta se dispara a valores muy altos comparados con los datos de un día constante, incrementando la evapotranspiración.

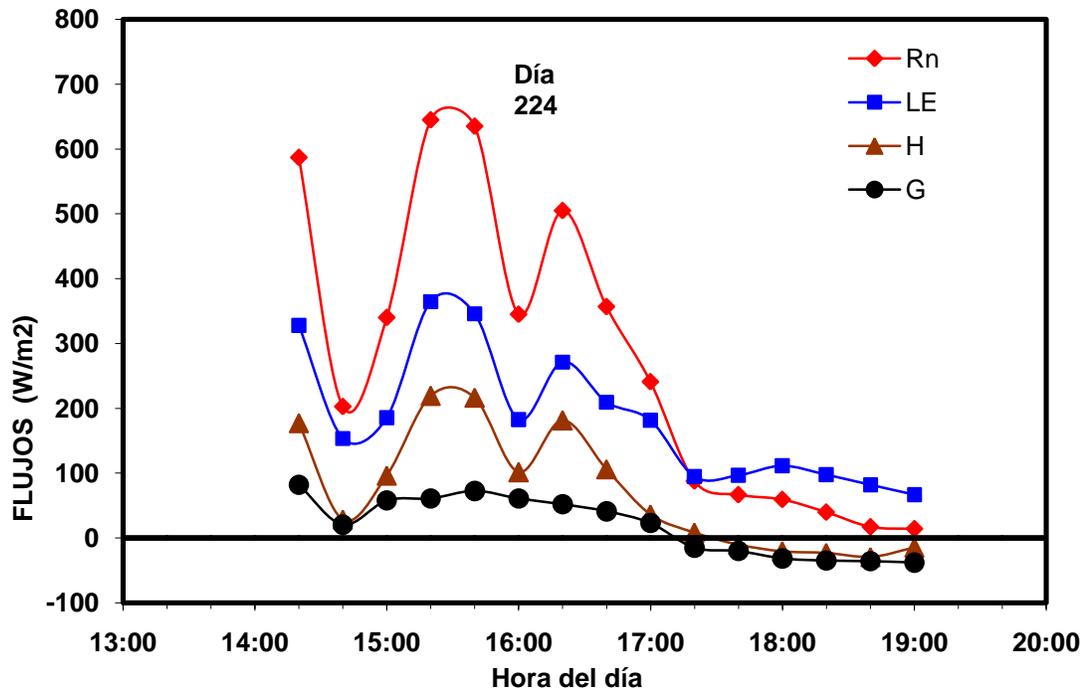


Figura 6. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 14:20 a las 19:00 el día 224 (24 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

El día 228 (28 días después de la siembra, Figura 7) observamos claramente como el flujo de calor latente (LE) prácticamente disipó toda la radiación neta para este día en el intervalo de tiempo calculado, ya que el flujo de calor en la superficie del suelo G no contribuyó en el balance de energía, observándose en valores muy cercanos al cero. El flujo de calor sensible H presentó el mismo patrón de G, lo que indicó que el flujo más importante fue LE.

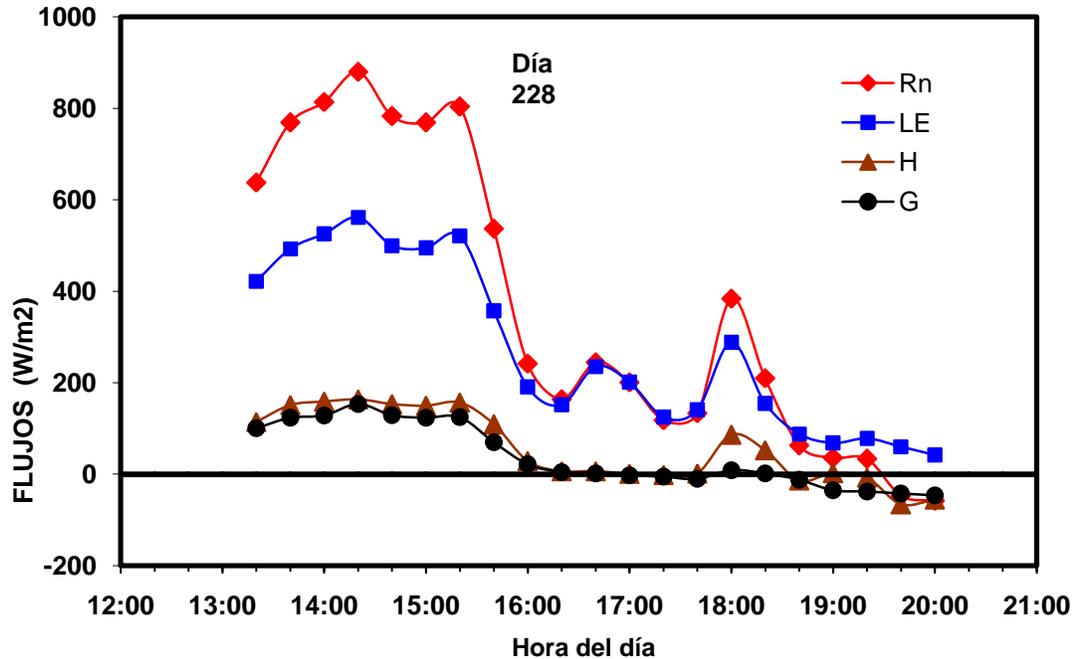


Figura 7. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 13:20 a las 20:00 el día 228 (28 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México.

Esta la Figura 8 se observan cómo LE sigue el mismo patrón de variación de Rn a lo largo del día. LE actúa como el principal mecanismo que disipa la Rn del día. En este día se reportó una evapotranspiración muy similar a un día despejado (día 232, Figura 5), en el cual la radiación neta es constante, lo que nos sugiere que la evapotranspiración de un cultivo no se verá afectada de manera significativa, tanto para los días despejados como para los días con nubosidad intermitente y oscilara en el rango de los 6 mm/día.

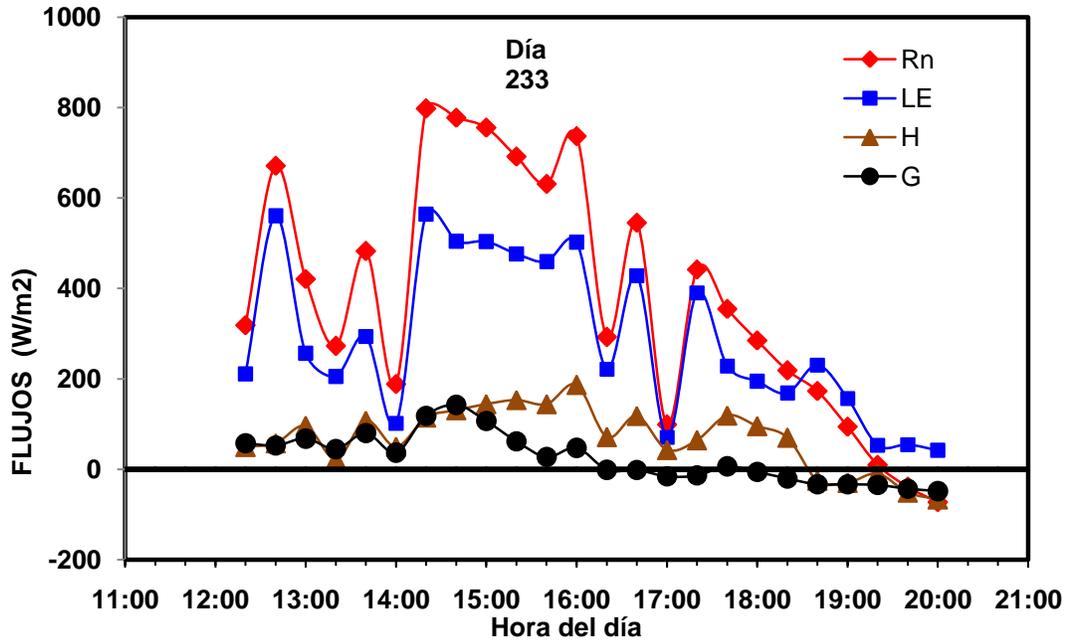


Figura 8. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 12:20 a las 20:00 el día 233 (33 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

Para las figuras 9 y 10 (34 y 41 días después de la siembra) y en los intervalos de tiempo con dirección del viento apropiada, se observó nubosidad muy intermitente lo que hace que la Rn tenga fluctuaciones muy grandes, de nueva cuenta LE sigue el mismo patrón de variación que la Rn y sigue siendo el principal mecanismo de disipación de la misma. A partir de las 16:00 horas G se hace negativo lo que nos indica que cambia de sentido el flujo, antes de la superficie hacia el suelo y ahora del suelo hacia la superficie.

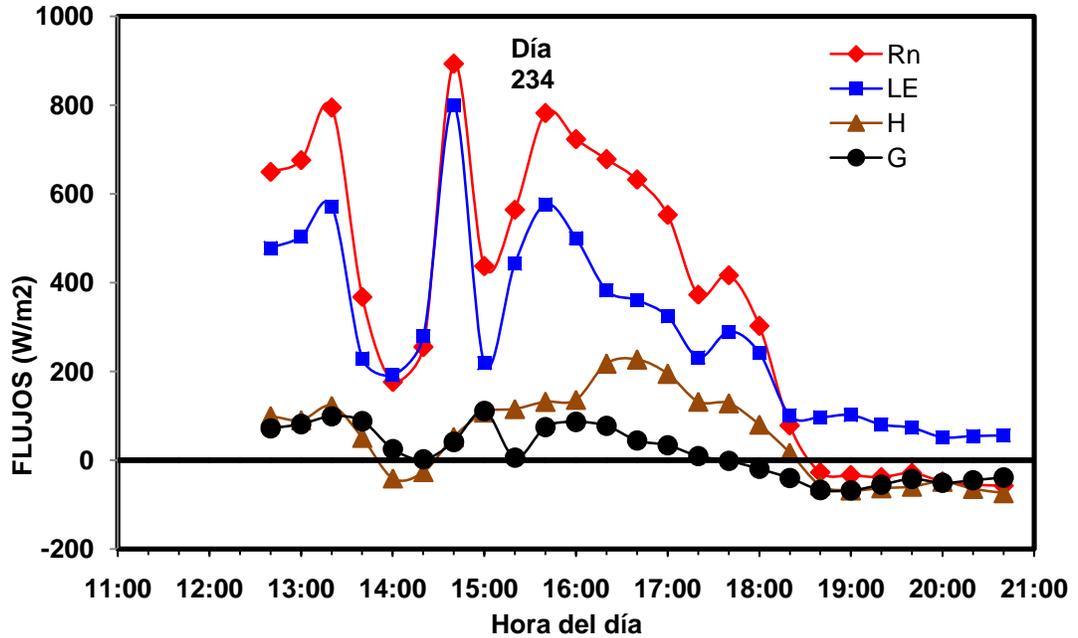


Figura 9. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 12:40 a las 20:40 el día 234 (34 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

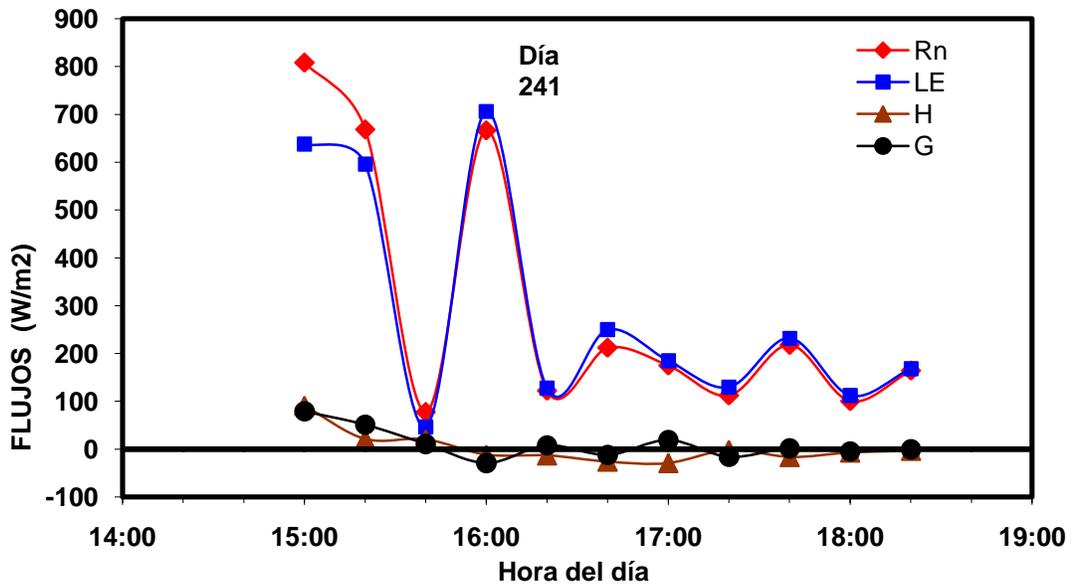


Figura 10. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 15:00 a las 18:20 el día 241 (41 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

Para la Figura 11 (43 días después de la siembra), se observa un día con nubosidad que se presentó desde 15:00 horas y ya no se despejó, lo que repercute en una tasa de evapotranspiración muy pequeña, haciéndose los flujos G y H negativos desde las 13:00 horas. Los flujos siguieron el mismo patrón de Rn a lo largo del tiempo observado. La Rn se hizo negativa a las 19:00 horas aunque LE siguió positivo las 2 horas siguientes pero a una escala casi despreciable.

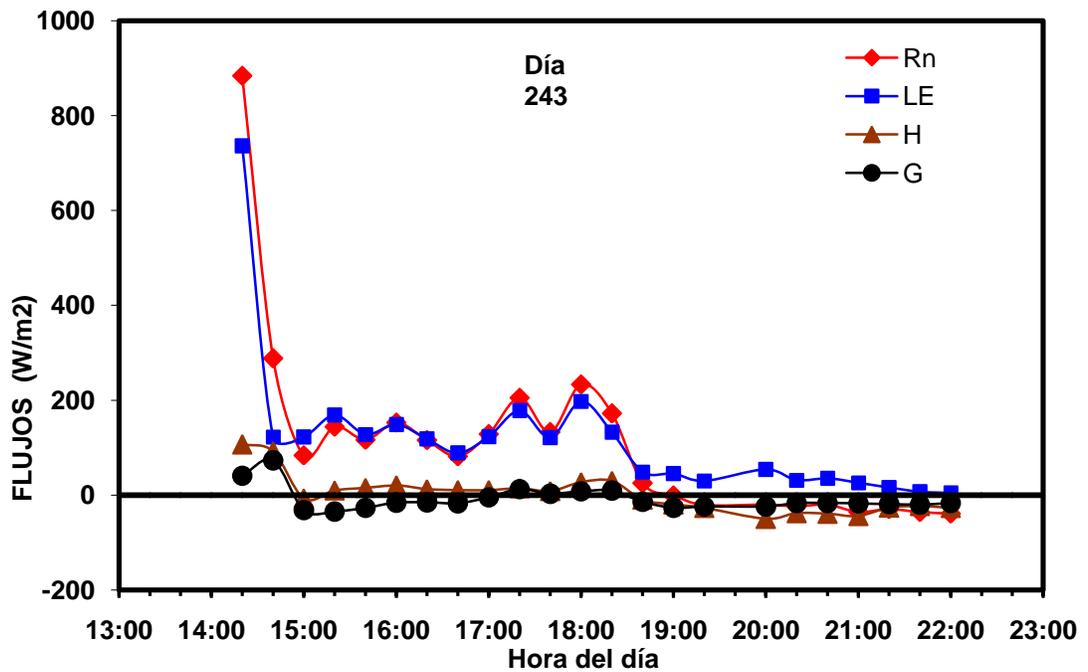


Figura 11. Flujos instantáneos (promedio de 20 min) de radiación neta (Rn); flujo de calor sensible (H); flujo de calor latente (LE) y flujo de calor en el suelo (G), observados de las 14:20 a las 22:00 el día 243 (43 días después de siembra); Jame, Municipio de Arteaga, Coahuila, México

### 4.3 Flujos integrados para diferentes días después de la siembra.

Para evaluar la distribución de los flujos de energía a través de los intervalos de tiempo observados, se integraron los flujos instantáneos ( $W m^{-2}$ ) para obtener los flujos integrados totales en ( $MJ m^{-2}$ ). Los flujos integrados en varios intervalos de tiempo, para varios días, a través del ciclo de desarrollo del cultivo, se muestran en el Cuadro 2, mostraron que los cambios en LE, H y G son directamente proporcionales a los cambios en  $R_n$ . Dado que durante el día,  $R_n$  es la fuente de energía en la superficie, este es el termino dominante en los componentes del balance de energía. Nótese que  $R_n$  se disipa principalmente en LE y casi en igual proporción en G y H. Observándose una relación directa entre el incremento en la radiación neta y el incremento en la lamina de agua evapotranspirada, debido a que el cultivo se encontraba en buenas condiciones hídricas.

Con esta información y haciendo una extrapolación de la lamina de agua evapotranspirada por el cultivo, para estos días de máximo desarrollo vegetativo, podemos decir que para el cultivo de Papa para esta región en condiciones de riego se alcanzaran valores de entre 6 y 6.5 mm/día, valores similares a los encontrados por Magliulo *et al* (2003), que reportó para el cultivo de papa en condiciones aproximadas a las ideales, utilizando el enfoque de la energía residual, el uso diario del agua del medio fue de  $6.58 \pm 0.12$  y  $7.22 \pm 0.14$  mm/día.

Cuadro 2. Valores integrados de flujos de calor sensible (H), calor latente (LE), radiación neta (Rn), flujo de calor en el suelo (G) y lamina de agua evapotranspirada en diferentes segmentos de tiempo, observados a diferentes días después de la siembra.

<b>Día</b>	<b>Intervalo de Tiempo</b>	<b>HC</b> (MJ/m <sup>2</sup> )	<b>LE</b> (MJ/m <sup>2</sup> )	<b>Rn</b> (MJ/m <sup>2</sup> )	<b>G</b> (MJ/m <sup>2</sup> )	<b>Lámina Evapotranspirada</b> (mm)
<b>224</b>	14:20 - 19:00	1.191	3.090	4.610	0.329	1.277
<b>225</b>	16:00 - 19:20	0.593	1.823	2.130	-0.286	0.753
<b>228</b>	13:20 A 20:00	1.413	6.570	8.917	0.934	2.715
<b>232</b>	13:20 A 19:40	1.387	7.923	10.048	0.738	3.274
<b>233</b>	12:20 A 20:00	2.004	8.113	10.837	0.721	3.353
<b>234</b>	12:40 A 20:40	1.667	8.363	10.518	0.488	3.456
<b>241</b>	15:00 A 18:20	-0.021	3.345	3.407	0.083	1.382
<b>244</b>	09:40 A 11:00	0.120	0.579	0.784	0.086	0.239

También se observó que a través del ciclo de desarrollo del cultivo, el promedio de los flujos integrados, el 19 % de la radiación neta se disipa en flujo de calor sensible, 76 % en flujo de calor latente y 5 % en flujo de calor en la superficie del suelo (Cuadro 2), lo que sustenta una vez más que el principal mecanismo de disipación de la radiación neta Rn es el flujo de calor sensible LE, lo que hace que este cultivo sea altamente demandante de agua y muestre trastornos fisiológicos severos a falta de ella (Cuadro 3).

Cuadro 3. Proporción de la disipación de la radiación neta en flujo de calor sensible (H/Rn), calor latente (H/LE) y flujo de calor en el suelo (G/Rn), en diferentes intervalos de tiempo en varios días después de siembra del cultivo de Papa, Jame municipio de Arteaga, Coahuila.

Día	Intervalo de Tiempo	H/Rn	LE/Rn	G/Rn
		MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>
224	14:20 A 19:00	0.258	0.670	0.071
225	16:00 A 19:20	0.279	0.856	-0.134
228	13:20 A 20:00	0.158	0.737	0.105
232	13:20 A 19:40	0.138	0.788	0.073
233	12:20 A 20:00	0.185	0.749	0.067
234	12:40 A 20:40	0.158	0.795	0.046
244	09:40 A 11:00	0.152	0.739	0.109
	<b>promedios</b>	0.190	0.762	0.048

## V. CONCLUSIONES

El flujo de calor latente (LE) fue el principal mecanismo de disipación de la radiación neta (Rn), lo que da por entendido que la forma en que la planta disipa la energía proveniente del sol es en evapotranspiración, determinándose valores promedio de hasta 76% de la radiación neta (Rn) disipada en flujo de calor latente (LE), 19% por el flujo de calor sensible (H) y 6% por el flujo de calor en el suelo (G).

Se observa una relación directa entre la radiación neta y el flujo de calor latente, a tasas de radiación neta altas corresponden tasa de evapotranspiración alta. La evapotranspiración no se ve afectada en días con nubosidad intermitente en comparación con los días totalmente despejados logrando valores prácticamente iguales.

Con base a los resultados antes mencionados se concluye que la tasa de evapotranspiración diaria observada para los días de máximo desarrollo vegetativo fue de más 6 mm diarios.

## VI. RESUMEN

La Papa (*Solanum tuberosum* L) es uno de los cultivos más importantes del sureste de Coahuila donde se cosecha una superficie de aproximadamente 1890 ha con un rendimiento promedio de 43.98 t ha<sup>-1</sup>. Para un adecuado crecimiento del cultivo, los riegos deben aplicarse adecuadamente en tiempo y cantidad, para cumplir los requerimientos de evapotranspiración del cultivo.

Sin embargo, en esta región no se realizan mediciones del agua consumida por el cultivo, que permita calcular las laminas de agua que se deben aplicar en los riegos, para no aplicar agua con exceso o con déficit. En esta investigación se determinó el consumo diario de agua del cultivo de Papa en el estado de Coahuila, utilizando el enfoque de la covarianza eddy para medir los flujos de calor sensible (H) y calor latente (LE). También se obtuvo la radiación neta (Rn) y flujo de calor en el suelo (G), para determinar el balance de energía en la superficie y evaluar la exactitud de los flujos medidos.

Los resultados de la investigación demostraron que en promedio el 19% de Rn se disipa en H, el 76% en LE, y el 5% en G. También se observó una relación directa entre la radiación neta y la tasa de evapotranspiración. La lamina de agua promedio evapotranspirada de las 13:00 a las 20:00 h fue de 3.361 mm, esto significa que para días completos, la tasa de evapotranspiración puede ser de hasta 6 mm/día, esto para condiciones de máximo desarrollo foliar del cultivo.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Alonso, A.F.1996. El Cultivo de la Patata. Editorial Mundiprensa.Madrid, España. 207pp.
- Baldocchi, D. D., B. B. Hicks, and T. P. Meyers. 1988. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology* 69: 1331-1340.
- Baldocchi, D, T. Meyers. 1998. On using eco-physiological, micrometeorological and biogeochemical theory to evaluate carbon dioxide, water vapor and trace gas fluxes over vegetation: a perspective. *Agricultural and Forest Meteorology*. 90: 1-25.
- Barkley, F.A. 1973 Dateline Classification of Organisms.. North Eastern. University. Boston, U.S.A.
- Camacho, G. S. A. 1997. Estudio de Modelos de Raíces y Distribución de Materia Seca en Papa (*Solanum tuberosum* L.) Bajo Condiciones de Invernadero Tesis Licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 75 pp.
- CIP., 2007. Centro Internacional de la Papa.. <http://www.cipotato.org/index2.asp>  
Fecha de consulta: 10 de Febrero de 2007.
- Cleverly J.R, C.N. Dahm, J.R. Thibault, D.J. Gilroy, J.E. Coonrod. 2002. Seasonal estimates of actual evapotranspiration from *Tamarix ramosissima* stands using 3-dimensional eddy covariance. *Journal of Arid Environments*. 60: 1-23.

- Cruz M, J.M. 2001. Ácidos húmicos y fúlvicos en papa en la Sierra de Arteaga, Coahuila. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 83 p.
- Curwen D. 1993. Water Management. In: Rowe Randall, C. (Ed.) Potato Health Management. St. Paul, Minnesota, USA. APS Press. The American Phytopathological Society. 178 p.
- De Santiago J. y M. Palazuelos. 1999. Radiografía de la papa en México. Revista Productores de Hortalizas. Año 8 No. 7. Junio del 1999. Publicación periódica Meister Publishing Co. 8-10.
- FAOSTAT, 1997. [faostat.fao.org](http://faostat.fao.org). Consultado: febrero de 2007.
- Harris. P. M...1978. The Potato Crop; The Scientific Basis for Improvement. London, Chapman&Hall.730p.
- Hawkes, J.G. 1990. The Potato: Evolution, Biodiversity and Genetic Resources. Smithsonian Institution Press. Washington D.C.
- Horton, D. 1998. Potatoes. Production Marketing Countries. London WCZE 8 HW. England. 8-15 pp.
- Hui D, Y. Luo, W. Cheng, J.S. Coleman, D.W. Johnson, D. Sims. 2001. Canopy radiation- and water-use efficiencies as affected by elevated [CO<sub>2</sub>]. Global Change Biology. 7 , 75–91.
- Idaho. University of Idaho. College of Agriculture. Miscellaneous Series No. 24. 11p.

Idso, S., Jackson, R. y Reginato, R. (1975): "Estimating evaporation: a technique adaptable to remote sensing", *Science*, 189, pp. 991-992.

INFOAGRO 2007. Agroinformación. <http://www.infoagro.com/hortalizas/patata.htm>  
Consultado: 2 de Octubre de 2007.

INIFAP-SAGAR. Series 1997 y 1989.  
[www.inifap.gob.mx/publicaciones/tecnica/agricolas](http://www.inifap.gob.mx/publicaciones/tecnica/agricolas). Consultado: 5 de  
Febrero de 2007.

Iritani, W.M. and L.D. Weller. 1980. Sugar development in potatoes. Extension Bulletin 0717. Cooperative Extension – College of Agriculture. Washington State University. Pullman, WA. 16p.

Itier, B. and Y. Brunet. 1996. Recent Developments and present Trends in Evapotranspiration Research: A partial Survey. En: Evapotranspiration and Irrigation Scheduling, Proc. Of the International Conference, 1996, San Antonio Texas, USA. (p1-20).

Jiyane, J. and A. Zermeño-Gonzalez. (2002). Applying the equilibrium evapotranspiration approach to irrigated agriculture in arid lands. *Agrociencia*, 37 (6): 553-563.

Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate (A Quantitative Approach to Environmental Physiology). Second Edition, Cambridge University Press. United Kingdom.

- Kanemasu, E.T., M.L. Wesely, B.B. Hicks and J.L. Heilman. 1979. Techniques for calculating Energy and Mass Fluxes. Modification of the Aerial Environment of Crops (B.J. Barfield and J.F. Gerber, eds). Am. Soc. Agric. Engineers, St. Joseph, Michigan.
- Kustas, W.P. y Norman, J.M. (1999): "Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover", *Agricultural and Forest Meteorology*, 94, pp. 13-29.
- Magliulo V, M. Bindi and G. Rana. 2003. Water use of irrigated potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under free air carbon dioxide enrichment in central Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 97. 65-80.
- Monteith, J. L. (1981): "Evaporation and surface temperature", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107, pp. 1-27.
- Oke, T.R. 1978. Boundary layer climates. Methuen, second edition. London and New York. 435 pp
- Painter, C.G., D.O. Everson, A.J. Walz, R.R. Romanko, A. Czernik, J.R. Jaeger, W.A. Henninger and C.D. Cross. 1975. Translucent end of potatoes in southwestern
- Pal Arya, S. 1988. Introduction to Micrometeorology. Academic Press Inc. U.S.A. 307 p.
- PINEDA, R. 1996. Perspectivas para el desarrollo agroindustrial del cultivo de papa en Colombia. En: Revista papas Colombianas. Revista Papa N° 13, FEDEPAPA. Pag. 6 y 8.

Price, J. (1982): "On the use of satellite data to infer surface fluxes at meteorological scales", Journal of Applied Meteorology, 21, pp. 1111-1122.

Price, J. (1989): "Quantitative aspects of remote sensing in the thermal infrared" en: Theory and Applications of Optical Remote Sensing. New York, pp. 578-603.

PRODUCCION VEGETAL 2007.

<http://www.gro.itesm.mx/agronomia2/extensivos/CpapaGeneralidades.html#requerikientos%20edfoclimaticos> Fecha de Consulta: 15 de Febrero de 2007.

Prueger, J.H., T.J. Sauner and J.L. Hatfield. 1998. Turbulence Flux Estimates of Sensible and Latent Heat Near Shelterbelts During Low wind Conditions. Transactions of ASAE 4(6): 1643-1650.

Rana G, N. Katerji and F. de Lorenzi. 2005. Measurement and modelling of evapotranspiration of irrigated citrus orchard under Mediterranean conditions. Agricultural and Forest Meteorology. 128: 199-209.

REDEPAPA

<http://www.redepapa.org/papaC3.pdf> Consultado: 1 de octubre de 2007.

REDEPAPA

<http://www.redepapa.org/roman.pdf> Consultado: 1 de octubre de 2007.

Rosenberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma. 1983. Microclimate: The biological environment. Wiley, New York, 495 pp.

Rousselle, P. Robert, Y. Crosnier, J.C. 1999. La patata producción, mejora, plagas y enfermedades. Ediciones Mundi prensa. Barcelona, España. 607pp.

Rowe, C.R. y G.A. Secor. Managing potato health from emergence to harvest. In: Rowe, C.R. (ed). Potato health management. 1993. The American phytopathological Society. USA.

Rowe, C.R. Potato health management: A holistic approach. 1993. The American phytopathological Society. USA.

SIACAP. (2002). Servicio de Información y Estadística Agropecuaria y Pesquera (SIAP), con información de las delegaciones de la SAGARPA en los Estados.

Siller, C. J. H. 2000. Análisis de Hortalizas en México. Revista Productores de Hortalizas. Año 9 No. 10. Octubre del 2000. Publicación periódica Meister Publishing Co. 8-12.

Stull, R.B. 1991. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Kluwer Academic Publishers, USA. 666 p.

Toda M, K.Nishida, N. Ohte, M Tani , K Musiake. 2002. Observations of Energy Fluxes and Evapotranspiration over Terrestrial Complex Land Covers in the Tropical Monsoon Environment. Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 80, No. 3, pp. 465—484.

Twine T. E., W. P. Kustas, J. M. Norman, D. R. Cook, P. R. Houser, T. P. Meyers, J. H. Prueger, P. J. Starks and M. L. Wesely. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. Agricultural and Forest Meteorology. 103: 279-300.

- Valadez, L.A. 1980. Producción de hortalizas. Editorial LIMUSA, México, D.F. 298pp.
- Van der Zaag, D. E. 1990. Potatoes and their Cultivations in the Netherlands. Wageningen, Netherlands.
- Verma, S. B., D. D. Baldocchi, D. E. Anderson, D. R. Matt, and R. J. Clement. 1986. Eddy fluxes of CO<sub>2</sub>, water vapor and sensible heat over a deciduous forest. *Boundary-Layer Meteorol.* 36: 71-91.
- Villarreal, G. M. J. 1987. El cultivo de la Papa en México. 1° Congreso Nacional de Papa. Chihuahua, Chih.
- Webb, E., G. Pearman, and R. Leuning. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 106:85-100.
- Webb, E.K. 1982. On the Correction of Flux Measurements for Effects of Heat and Water Vapour Transfer. *Boundary-Layer Meteorol.* 23: 251- 254.
- Williams D. G., W. Cable, K. Hultine, J. C. B. Hoedjes, E. A. Yopez, V. Simonneaux, S. Er-Raki, G. Boulet, H. A. R. de Bruin, A. Chehbouni, O. K. Hartogensis and F. Timouk. 2004. Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology.* 125; 241-258.
- Zermeño G.A. 2001. Métodos Micrometeorológicos para Medir Flujos de Calor y Vapor de Agua entre los Cultivos y la Atmósfera. XIII Semana Internacional

de Agronomía. 5-7 de Septiembre, Gómez Palacio, Durango, Mexico. (53-57 pp).

Zermeño G.A. 2003. Aplicación del enfoque de Evapotranspiración a Equilibrio en la Agricultura de riego en Zonas Áridas. Agrociencia. Vol. 37. No. 6. 553-562 pp