

## El Uso de Modelo Matemático para optimizar los Recursos Hídricos en una Agricultura Sostenible.



### AUTORES:

Ing. Rolando Venancio León Aguilar<sup>1</sup> Ph.D

■ Dr. Arturo Bofill Placeres<sup>2</sup> Ph.D ■ MSc Isarah Romero Peñate<sup>3</sup>



### RESUMEN

**E**l Riego es una herramienta fundamental para intensificar la agricultura, aunque solo el 16 % de los campos del mundo lo tienen, en ellos se produce más del 40 % de la producción mundial FAO (2004). En la Agricultura el riego es un factor decisivo, por esto las informaciones que se tengan sobre el recurso agua no solo constituye la base para su planificación racional, sino, que se convierte en un elemento básico para vigilar la seguridad alimentaria mundial y la salud de nuestro planeta.

El trabajo se realiza en cinco organopónicos pertenecientes a la Granja Urbana del municipio de Matanzas en la provincia de igual nombre. Se desarrolla un modelo de Programación Lineal Multiobjetivo o de Programación por Metas Lograr disminuir el volumen de agua que se utilizaría a

partir de los esquemas de siembras actuales. En este caso la meta que se propone es disminuir en al menos un 10% del valor actual. Lograr un alto cubrimiento del área asignada a cada cultivo y lograr un alto cubrimiento del área total del organopónico. La meta sería acercarse al área total en cada decena, sin sobrepasar esa área

Los modelos para cada organopónico fueron procesados utilizando el Paquete WinQSB (Quantitative Systems Business) utilizando el Modelo de Programación Lineal y Entera que tiene este paquete.

Con la aplicación del modelo se logra un ahorro de un 14,5 % del agua planificada para los organopónicos, cumpliendo con las áreas de siembra de los cultivos y logrando un alto cubrimiento de las mismas.

#### Palabras claves:

Hortalizas, agua, Modelo matemático, Agricultura Urbana

#### Autores:

<sup>1</sup> Dr.c Profesor Titular Universidad de Matanzas. Matanzas CP. E.mail rolando.leon@umcc.cu

<sup>2</sup> Dr. Profesor Titular Universidad de Matanzas E.mail arturo.bofill@umcc.cu

<sup>3</sup> MSc. Profesora Asistente Universidad de Matanzas. Matanzas E.mail isarah.romero@umcc.cu

## INTRODUCCIÓN

Agricultura Urbana se concibe según Rodríguez (2002), como: La producción de alimentos dentro del perímetro urbano Aplicando métodos intensivos teniendo en cuenta la relación hombre, cultivo, animal, medio ambiente. La Producción diversificada de los cultivos y animales durante el año, se basan en prácticas sostenibles que permiten el reciclaje continuo como un elemento importante.

El agua constituye un elemento básico para intensificar la agricultura, sin embargo, sobre este recurso cada año, surgen nuevas advertencias por organismos competentes sobre la crisis que se generan en muchos lugares del mundo, debido a: Su baja disponibilidad, deterioro de su calidad y empleo inadecuado de la misma en los principales sectores de uso (Consumo humano, Industria y Agricultura) donde esta última consume aproximadamente el 70 por ciento del agua que se utiliza a escala mundial.



La Determinación de los volúmenes de agua de riego que en cada momento demandan los diferentes cultivos, se convierte en una tarea indispensable si se aspira a una agricultura sostenible desde el punto de vista de los recursos hídricos teniendo en cuenta estas premisas se desarrolla el trabajo que tiene como objetivo:

Desarrollar un modelo de optimización de programación por metas que no permita a utilizarla en el riego de las hortalizas en condiciones de organopónicos.



## MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

El trabajo se realiza en cinco organopónicos: "La Dignidad", "El Triángulo", la "Universidad de Matanzas", "Camilo Cienfuegos" y el "XIV Festival Mundial de la Juventud y los Estudiantes", pertenecientes a la Granja Urbana del municipio de Matanzas en la provincia de igual nombre.

Para optimizar los volúmenes de agua que se utilizan en los organopónicos estudiados, se desarrolla un modelo matemático para lo cual fue necesario:

1. Definición del Problema (Selección de los Objetivos o Metas).
2. Recopilación de los datos.
3. Formulación del Modelo Matemático que de respuesta al problema.
4. Ejecución del Modelo.
5. Análisis e interpretación de los resultados.

1. Definición del problema (Selección de los Objetivos o Metas) se plantean tres metas.

- Lograr disminuir el volumen de agua que se utilizaría si se mantuviera los esquemas de

siembra actuales. La meta que se propone es disminuir en al menos un 10% del valor actual.

- Lograr un alto cubrimiento del área asignada a cada cultivo. Se plantea como meta acercarse lo más posible al plan de siembra para cada cultivo en cada organopónico sin sobrepasar esa cifra.

- Lograr un alto cubrimiento del área total del organopónico. La meta es acercarse al área total de siembra de cada organopónico en cada decena, sin sobrepasar esa área

2. Recopilación de los datos, este aspecto constó de dos etapas.

- Realización de un diagnóstico en cada uno de los organopónicos estudiados.

- Determinación de las necesidades hídricas de cada uno de los cultivos planteados en la alternativa de siembra.

Del diagnóstico realizado a los organopónicos, se determinan los componentes físicos, de cada uno de ellos (*Tabla 1*).

Tabla 1 Componentes Físicos de los Organopónicos

Organopónicos	Área Bruta (m <sup>2</sup> )	Área Neta (m <sup>2</sup> )	Total de Canteros	Longitud media de los Canteros (m)	Ancho medio de los Canteros (m)	Sectores de Riego
1- La "Dignidad"	7 041	4000	100	25 m	1m	20
2- El "Triángulo"	4 000	1800	62	30 m	1m	11
3- Universidad de Matanzas	10 000	5 000	200	25	1	7
4- "Camilo Cienfuegos"	4 000	2 950	118	25	1	-
5- "XIV Festival"	4 300	2 425	97	25	1	4

### Cálculo de las necesidades hídricas por fases y ciclos de los cultivos.

Para la determinación de las Necesidades Hídricas de los cultivos empleados en los organopónicos se maneja el Área Neta de los mismos. Los principales cultivos utilizados en cada organopónico. Alternativa de cultivos que se aplica teniendo en cuenta los cultivos principales y secundarios, sus fases de desarrollo, así como el % de participación de cada uno de ellos dentro de la alternativa comprendida en dos períodos Frío de noviembre a abril y Primavera de mayo a octubre la que se obtiene a partir del diagnóstico realizado en los organopónicos. Se plantea una única alternativa para todos los en ambas zonas estudiadas.

Además para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos se utilizan los datos de suelo: densidad aparente, capacidad de campo, límite productivo Minagri, (2000), para sistemas organopónicos. Se utilizan los datos relacionados con el cultivo como son coeficiente de cultivo planteados por Smith, (1993), y Las capas activas planteadas por Minagri, (2002).

Para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos se utiliza el programa CROPWAT versión 5.7, propuesto por Smith, (1992). El procedimiento para el cálculo de las necesidades de agua de cada uno de los cultivos que participan en la rotación esta basado en los métodos presentados en los estudio de la FAO reportados por Dorembos y Pruitt, (1977). Realizando un balance, teniendo en cuenta, la evapotranspiración del cultivo y la lluvia efectiva.

Se emplean los valores climatológicos, medios decenales para las zonas estudiadas tales como: Temperatura máxima y mínima, Humedad Relativa, Velocidad del viento e insolaciones, cuya información se obtuvo en el Departamento de Meteorología perteneciente a la Delegación provincial de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Matanzas (CITMA).

Las precipitaciones utilizadas se obtienen a partir de los registros existentes en la Empresa de Aprovechamiento Hídrico pertene-

Tabla 1. Principales cultivos y variedades cultivados en los organopónicos

Nombre común	Nombre Científico	Variedades
Lechuga	Lactuca sativa L.	Riza 15, Chile 1185-3, Black Seeded Simpson
Tomate	Lycopersicon esculentum	INIFAT-28, Amalia
Col	Brassica oleracea	Hercules
Zanahora	Daucus carota	New koruda
Remolacha	Beta vulgaris	Nueva Zelandia
Ajo Puerro	Allium porum	Chino
Rábano	Raphanus sativus L.	Scarlet Globe
Pimiento	Capsicum annum	Español 16
Habichuela	Vigna unguiculat	Lina, Canton -1
Pepino	Cucumis sativus	Foincet, Hatuey
Cebollino	Allium fistulosum. L	Ever Green
Aji	Capsicum annum	Chay, linea -3

ciente a la Delegación provincial de Recursos Hídricos de Matanzas, determinadas a partir de las distribuciones de las precipitaciones del año medio seco, el cual se corresponde con el 75 % de probabilidad. Con la ejecución del programa CROPWAT, se obtienen los valores de las necesidades hídricas por cultivos y por zonas.

Con los valores de las necesidades hídricas obtenidas por decenas para cada uno de los cultivos estudiados, de acuerdo con la alternativa planteada para cada organopónico se multiplica por el área que ocupa cada cultivo en la decena, obteniéndose el volumen de agua de riego decenal para cubrir las necesidades de los cultivos, se suman los volúmenes decenales para cada cultivo, obteniéndose de esta forma, el volumen de agua requerido por cada uno de los organopónicos, para cubrir las necesidades de los cultivos en cada una de las 36 decenas estudiadas. La sumatoria de estos volúmenes constituyen el volumen total de agua utilizar por cada organopónico para satisfacer las necesidades de los cultivos y cubrir la alternativa de siembra preestablecida.



### Desarrollo del modelo Matemático para la Optimización de los Volúmenes de Agua a utilizar en los Organopónicos.

Para poder determinar los volúmenes de agua requerido por cada organopónico, tipo de cultivo y decena del año, es necesario fijar un esquema de siembra a partir de la alternativa de los cultivos propuesta - considerando tres etapas: iniciación, desarrollo y final.

En la actualidad la distribución del área a sembrar de cada cultivo, se realiza mediante un porcentaje de participación, donde se considera el área total asignada al cultivo, el ciclo biológico y la época del año. Así, por ejemplo, la Lechuga que tiene un ciclo de biológico de 30 días, el área a sembrar en cada decena será un tercio del área total. Este tipo de esquema de siembra, no considera el consumo de agua de regadío, cuya utilización racional es un objetivo de este trabajo.

Para lograr la sostenibilidad de los recursos hídricos para la producción de hortalizas y vegetales en organopónicos del municipio de Matanzas, en este trabajo se plantea la utilización de un modelo de Programación Lineal Multiobjetivo o de Programación por Metas, ya que para cada organopónico se plantea las siguientes metas u objetivos:

- Lograr disminuir el volumen de agua que se utilizaría si se mantuviera los esquemas de siembras actuales. En este caso la meta que se propone es disminuir en al menos un 10% del valor actual.

- Lograr un alto cubrimiento del área asignada a cada cultivo. Se planteará como meta acercarse lo más posible al plan de siembra para cada cultivo sin sobrepasar esa cifra.
- Lograr un alto cubrimiento del área total del organopónico. La meta sería acercarse al total de siembra en cada decena, sin sobrepasar la misma.

Además de estas metas, se parte para la construcción del modelo de los siguientes supuestos:

1. Se determinará la cantidad del área a sembrar de cada cultivo para el primer ciclo de iniciación de acuerdo a la rotación establecida y en posteriores se mantendrán estas mismas cantidades, o sea cada vez que el área de un cultivo finaliza, se sembrará esa misma área. Esto implica que las variables de decisión del modelo sólo se definirán para el ciclo inicial de la cosecha de cada cultivo y de esta forma queda establecido el plan de siembra para los otros.

De forma similar el volumen de agua asociado a cada variable será la suma de los consumos unitarios para las distintas etapas del cultivo (iniciación, desarrollo y final) y para los distintos ciclos de siembra.

2. Existe suficiente demanda de los productos cosechados en cada etapa, aunque debe garantizarse determinada cantidad mínima que no conlleve a picos extremos. Este supuesto garantiza un mayor rango de valores para la variable de decisión del problema con el propósito de lograr mejor uso del agua.

3. Todas las metas tienen la misma prioridad y jerarquía, esto es, no se han establecido distintos pesos para las metas, ni distintas jerarquías entre ellas.

4. Para las distintas metas propuestas se desea que las mismas no sean sobrepasadas, por lo que en las restricciones asociadas a cada una de ellas sólo se utilizarán variables metas con signo positivo. No obstante en el caso del área de siembra de los distintos cultivos se requiere un cubrimiento mínimo para garantizar el plan de producción, lo que obliga a adicionar otras restricciones al modelo.

El modelo general planteado para la solución de dicho problema sería el siguiente:

### DEFINICIÓN DE VARIABLES

$X_{id}$ : Cantidad de metros cuadrados del cultivo tipo  $i$  en la decena  $j$

Donde:

$i = 1$  (lechuga),  $2$  (tomate),  $3$  (col),  
...,  $13$  (ají)

$d = 1, 2, 3, \dots, 36$

### RESTRICCIONES DE META

Meta asociada al volumen de agua a utilizar

$$\sum_{\forall i} \sum_{j=d} C_{ij} X_{ij} + X_{m1} = MA$$

Donde:

$C_{ij}$ : Volumen de agua a utilizar, en litros por metro cuadrado, para el cultivo  $i$  que se inicia en la decena  $j$ .

$X_{m1}$ : Variable meta para el volumen de agua.

MA: Meta de volumen de agua a utilizar.

Metas asociada al cubrimiento del área total neta del organopónico en cada decena  $j = 1, 2, 3, \dots, 36$

$$\sum_{k \in i} X_{kj} + X_{m,j+1} = ATO$$

Donde:

$X_{m,j+1}$ : Variable meta para cubrimiento del área del organopónico en la decena  $j$

ATO: Área total neta del organopónico

Meta asociada al área total que debe cubrir cada cultivo.

$$\sum_{j=i} X_{ji} + X_{m,37+i} = ATC \quad i = 1, 2, \dots, 13$$

Donde:

$X_{m,37+i}$ : Variable meta para el cubrimiento del área a sembrar de cada cultivo.

ATC: Área total neta a sembrar de cada cultivo.

### OTRAS RESTRICCIONES DEL MODELO

Restricciones asociadas al área máxima permisible a sembrar por cultivo para cada decena de iniciación

$$\sum_{j=i} X_{ji} \leq AMS \quad k \in i = 1, 2, \dots, 13$$

Donde:

AMS: Área neta máxima a sembrar en cada decena de la etapa de iniciación.

### CONDICIONES DE NO NEGATIVIDAD

$$X_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo valor de } i \text{ y de } j$$

En el (Anexo 9), se muestra el modelo matemático de programación de meta para el caso específico del Organopónico "Universidad".

Como se mantiene la misma alternativa de cultivo y los mismos tipos de cultivo para cada organopónico, este modelo será general para todos los organopónicos bajo estudio, variando sólo los parámetros de entrada del modelo.

Los modelos para cada organopónico fueron procesados utilizando el Paquete WinQSB (Quantitative Systems Business) utilizando el Modelo de Programación Lineal y Entera que tiene este paquete. Para ello fue necesario cambiar las variables de doble subíndice a variables de un solo índice. De esta forma  $X_{11}$  se transforma en  $X_1$  y así sucesivamente hasta llegar a las 25 variables de decisión. A partir de  $X_{26}$  hasta  $X_{75}$  se representan las variables metas del problema. En el (Anexo 10), se establece las relaciones entre las variables del modelo y las variables del reporte salida.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

- Resultados de la aplicación del modelo de optimización de los volúmenes de agua a utilizar en los organopónicos estudiados. Al evaluar el modelo de optimización aplicado con el, objetivo de optimizar los volúmenes de agua a utilizar en cada uno de los organopónicos se obtiene y se toma de referencia en algunas oportunidades de la Universidad.
- Plan de siembra y cumplimiento de las metas.
- Plan de siembra.

De la tabla de salida de solución del modelo para el caso del organopónico la Universidad (Anexo 11), se puede interpretar el plan de siembra que mejor da cumplimiento a las metas propuestas en el modelo. Entonces:

$X_1 = 500$  implica que se debe sembrar 500 m<sup>2</sup> de Lechuga en la primera decena del primer ciclo (N-1). Al haber asumido que este mismo valor sería lo que habría que sembrar al inicio de los otros ciclos, (un modelo de alternativas en (Anexos3) es lo que implica que esta misma área se sembrará en las decenas (D-1, E-1, F-1, M-1 y A-1).

$X_4 = 425$  implica que debe sembrarse 425 m<sup>2</sup> de Tomate en la primera decena del primer ciclo de siembra (N-1) y después esta misma cantidad se sembraría en (F-2).

De análisis similar se obtiene el siguiente plan de siembra para los distintos cultivos en el organopónico Universidad. (Tabla 18).

En la tabla se observa que de la relación de cultivos que se consideró para plantearse la alternativa de siembra, solamente el Rábano, es excluido del modelo de solución, igual resultado con respecto a este cultivo se obtiene en el resto de los modelos de salidas obtenidos para los demás organopónicos, aunque esto no representa un problema para la producción de esta hortaliza, ya que esta puede obtenerse a partir del intercalamiento con otros cultivos principales. El (GNAU, 2000), recomienda que este cultivo se asocie con cultivos como: Tomate, pepino, Pimiento, y Habichuela, ya que cumplen con ciertos requisitos exigidos para tal propósito.

Los resultados de los modelos "Reportes de salidas" para el resto de los organopónicos se relacionan en los (Anexos 12, 13, 14 y 15), cuyas tablas de interpretación de los planes de siembra se relacionan en los (anexos 16, 17, 18 y 19).



- Meta del volumen de agua a consumir.

De la tabla de resultado del modelo para el caso del organopónico de la Universidad (Anexo 11), se puede interpretar que la variable X<sub>26</sub> es la que asume el incumplimiento de dicha meta del volumen de agua a utilizar. Ya que  $X_{26} = 0$  la

Tabla 18. Plan de siembra de acuerdo con los resultados del modelo organopónico Universidad.

Cultivos	Variable salida	Area en m <sup>2</sup> a sembrar	Decenas
Lechuga	$X_1 = 500$	500	N-1,D-1,E-1,F-1,M-1, A-1
	$X_2 = 500$	500	N-2,D-2,E-2,F-2,M-2, A-2
	$X_3 = 225$	225	N-3,D-3,E-3,F-3,M-3, A-3
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		1225	
Tomate	$X_4 = 525$	525	N-1 y F-2
	$X_5 = 175$	175	D-1 y M-1
	$X_6 = 0$	0	
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		600	
Col	$X_7 = 250$	250	N-1 y F-1
	$X_8 = 150$	150	D-1
	$X_9 = 600$	600	E-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		1000	
Zanahoria	$X_{10} = 150$	150	N-1 y F-1
	$X_{11} = 0$	0	
	$X_{12} = 100$	100	E-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		250	
Remolacha	$X_{13} = 150$	150	N-1 y F-1
	$X_{14} = 0$	0	
	$X_{15} = 100$	100	E-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		250	
Ajo Puerro	$X_{16} = 100$	100	N-1,D-1, E-1,F-1,M-1 y A-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		100	
Rábano	$X_{17} = 0$	0	-
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		0	
Pimiento	$X_{18} = 100$	100	N-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		100	
Habichuela	$X_{19} = 1000$	1000	M-1,Jn-3,A-3 y O-2
	$X_{20} = 825$	825	M-3, JI-3, y S-3
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		1825	
Pepino	$X_{21} = 1000$	1000	M-1,Jn-3,S-1 y O-3
	$X_{22} = 500$	500	M-3, JI-3 y O-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		1500	
Ajo Puerro	$X_{23} = 250$	250	M-1,Jn-1,JI-1,A-1,S-1 y O-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		250	
Cebollino	$X_{24} = 250$	250	M-1,Jn-1,JI-1,A-1,S-1 y O-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		250	
Ají	$X_{25} = 750$	750	M-1, JI-1 y S-1
Area total a sembrar en m <sup>2</sup>		750	

meta propuesta de 2 700 000 litros de agua se alcanza y ese mismo consumo estimado de agua para el plan de siembra descrito en el epígrafe anterior.

En el modelo de alternativa de rotación que se lleva a cabo en la actualidad el consumo hubiese sido de 3 160 300 litros de agua,

por lo que aplicando los resultados del modelo matemático desarrollado se obtendría un ahorro de 460 800 litros de agua lo que implica una disminución del 14,5 %.

De forma similar puede interpretarse para los resultados del modelo aplicado a los otros organopónicos los cuales se muestran en la (Tabla 19)

Tabla 19. Meta del volumen de agua a consumir y porcentaje disminuido

Organopónicos	Variable meta de agua	Consumo estimado	Consumo esquema actual	Porcentaje disminuido
La Universidad	$X_{26}$	2 700 000	3 170 000	14,5
La Dignidad	$X_{26}$	2 500 000	2 761 200	9,4
El Triángulo	$X_{26}$	1 100 000	1 343 560	18,2
Camilo Cienfuegos	$X_{26}$	2 300 000	2 639 000	12,8
XIV Festival	$X_{26}$	1 800 000	2 067 200	12,92

En el análisis del resto de los organopónicos se puede observar en la (Tabla 19) que al igual que el de la Universidad se obtiene un ahorro significativo de agua, resaltando los resultados del modelo del organopónico el Triángulo que se logra ahorrar hasta un 18,12 %.

- Cumplimiento de la Meta de cubrimiento de las áreas de los organopónicos.

Al analizar los resultados de la aplicación del modelo matemático empleado con el objetivo de lograr la optimización del volumen de agua aplicar en los organopónicos estudiados, en la (Tabla 20), se observa el cubrimiento del área de los organopónicos por decena. En el organopónico de la universidad se obtiene 8,3 % de decena con cubrimiento al ciento por ciento y un 47,2 % con más de un 90 % de cubrimiento, lográndose entre ambas un 58 %.

En los organopónicos La Dignidad y El Triángulo se logra 72,22 y 75 % de las decenas con más de un 80 % de cubrimiento del área del los organopónicos respectivamente. Resaltan los resultados obtenidos en los organopónicos Camilo Cienfuegos y XIV Festival, donde se logran 83,33 % de las decenas con más del 90 o el 100 por ciento del cubrimiento del área.

- Cumplimiento de la Meta del área a sembrar de cada cultivo.

Las variables metas asociadas a esta meta en el caso del organopónico de la Universidad son las siguientes:

$X_{63}$  Incumplimiento de la meta de área a sembrar de Lechuga

$X_{64}$  Incumplimiento de la meta de área a sembrar de Tomate, y así sucesivamente con el resto de los cultivos analizados, hasta  $X_{75}$ , que corresponde al incumplimiento área a sembrar, del cultivo del Aji.

Al observar en el modelo  $X_{63} = 763,51$  se interpreta que esta es el área en  $m^2$  que se incumple en la meta de siembra de este cultivo que era de 2 000  $m^2$ , que esta variable es el cumplimiento de lo que se va sembrar, esto es:

$$X_{63} = 2000 - (X_1 + X_2 + X_3)$$

$$X_{63} = 2000 - (500 + 500 + 236) = 763,52.$$

Tabla 20. Cumplimiento de la Meta de cubrimiento de las áreas de los organopónicos por decenas.

Cubrimiento En %	Universidad	La Dignidad	El Triángulo	Camilo Cienfuegos	XIV Festival de la Juventud
100	8,3	11,1	2,55	8,33	13,8
Más de 90	47,2	5,55	11,11	75	69,44
Más de 80	2,77	72,22	75	2,77	2,77
Más de 70	33,33	11,11	8,33	13,88	13,88
Más de 60	8,33	-	-	-	-

En la (Tabla 21), se relaciona el porcentaje de cumplimiento del área a sembrar de cada uno de los cultivos comprendido en la alternativa planteada, (anexo3), para el organopónico de la Universidad.

Se observa que solamente en tres, de los 13 cultivos que comprenden la alternativa planteada no cumplen en el ciento por ciento, pero superan el 60 % de cumplimiento, aunque dos de los cultivos que no cubren el ciento por ciento del área a sembrar son la Lechuga y la Habichuela, que por el peso que tienen dentro de la alternativa no se producen afectaciones sensibles.

Tabla 21. Cumplimiento de la Meta del área a sembrar de cada cultivo organopónico Universidad.

Cultivos	Área a sembrar	Meta	% de cumplimiento
Lechuga	1225	2000	53
Tomate	600	1000	60
Col	1000	1000	100
Zanahoria	250	250	100
Remolacha	250	250	100
Ajo Puerro	100	100	100
Rábano	0	100	0
Pimiento	100	100	100
Habichuela	1825	2250	81
Pepino	1500	1500	100
Ajo Puerro	250	250	100
Cebollino	250	250	100
Aji	750	750	100

En los (Anexos 20, 21, 22 y 23), se relaciona el porcentaje de cumplimiento del área a sembrar de cada uno de los cultivos comprendido en la alternativa planteada, (anexo3), para el resto de los organopónicos.

## CONCLUSIONES

1. El modelo de programación lineal por metas desarrollado con el objetivo de optimizar el volumen de agua a utilizar en los organopónicos estudiados, es factible debido a:
2. Cumple con la meta establecida de ahorrar el 10 por ciento del volumen de agua previamente calculado.
3. Se obtiene una alternativa de siembra, que logra un ahorro de agua de un 13,5 % promedio en todos los organopónicos, sobresaliendo el organopónico El Triángulo con un 18,2 %.
4. Cumple La meta de cubrimiento de las áreas de los organopónicos decenales, obteniéndose en todos los casos, altos cubrimientos, sobresaliendo el organopónico La Dignidad y El Triángulo con un 72 y 75 por ciento de cubrimiento respectivamente.

## BIBLIOGRAFIA

Abenney- Mickson, S; A. Yomote y T. Miure.(1997). Water balance of field plots planted with soybean and purkin. Transaction of the ASAE 40 (4): 899-909.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith (1998). "Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements". FAO Irrigation and Drainagepaper 56. Rome. Italy. 300 p.

Campanoni, N. et al (1997). La Agricultura Urbana en Cuba: Su participación en la seguridad alimentaria. Conferencias. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. UCLV. Villa Clara. Cuba; 9-13.P

FAO (1986). Necesidades de agua de los cultivos. Serie Riego y Drenaje No24 Roma Italia

FAO. (2003). Optimizing soil moisture for plant production; the significance of soil porosity. Por T.F. Shaxson y R.G. Barber. FAO, Roma. Por publicarse.

FAO: AG21.El agua: un recurso inapreciable y limitado/ en línea/ Octubre 2002 Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0210sp1.htm>. [Consulta: noviembre, 23 2004]

Grupo Nacional de Agricultura Urbana (GNAU). (2000). Lineamientos para los subprogramas de la Agricultura Urbana. Grupo Nacional de Agricultura Orgánica. Ministerio de la Agricultura. Ciudad de la Habana 46 pp.

Infoagro. El cultivo del pepino /en línea / Marzo 2003. Disponible en: <http://www.infoagro.com/hortalizas/pepino.htm-1>. ORIGEN [Consulta: Marzo, 15 2004]

Inforganic. Gran crecimiento de la producción orgánica de Cuba / en línea/ junio2004 Disponible en: <http://www.inforganic.com/modulos.php?name=News&file=article&id=81> [Consulta: Octubre, 20 2004].

Lámela F. C. (2004). Planificación y manejo eficiente del riego en el Complejo Agroindustrial. Gregorio A. mañalich. La Habana 63 h Tests ( en opción al título de Master en Agroecología y Agricultura Sostenible. Universidad Agraria de La Habana.

Minagri. (2000).Manual Técnico de Organopónicos y Huertos Intensivos. INIFAT. Cuba

Rodríguez, N. A. (2002). Avances y Perspectivas de la Agricultura Urbana en Cuba, En: Alimentos y salud, Simposio de la Asociación Culinaria