



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



## Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



# MODELACIÓN HIDRÁULICA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTE CENTRAL MEDIANTE EL PROGRAMA WATERGEMS

Bruno Aleredo Díaz Quinto



Enseñar la explotación de la tierra,  
no la del hombre

Fecha de presentación del 09 al 11 de junio de 2021





# CONTENIDO

Introducción

Materiales y métodos

Resultados

Conclusión

Referencias bibliográficas





# INTRODUCCIÓN

- Software
- Paquetes computacionales
- Importancia del uso de programas para el diseño y revisión de sistemas de riego
- Programa WaterGEMS aplicado a los sistemas de riego





# MATERIALES Y MÉTODOS

## Materiales

- Software: WaterGEMS CONNECT, Excel, Word.
- Cartilla de los emisores del pivote central establecido.
- Catálogo de fabricante Senninger iWob 2.

## Descripción del equipo

El estudio se realizó evaluando una máquina de pivote central de marca Valley. Esta máquina está compuesta por 10 tramos de distancia variable, con tramo voladizo, sin cañón en la parte final de 25.09 m, para una longitud total de 501.3 m.





# MATERIALES Y MÉTODOS

Dentro del Cuadro 1, se muestra el número de emisores por cada tramo el cual varía dependiendo de la zona, en el tramo 10, el cual sería el voladizo, contiene 12 emisores, mientras que del tramo 4 al 9, son 24 emisores.

**Cuadro 1.** Número de emisores por tramo

No. De tramo	No. De emisores
Tramo 1	14
Tramo 2	22
Tramo 3	21
Tramo 4	24
Tramo 5	24
Tramo 6	24
Tramo 7	24
Tramo 8	24
Tramo 9	24
Tramo 10 (Voladizo)	12
<b>TOTAL</b>	<b>213</b>





# MATERIALES Y MÉTODOS

Los emisores, del tipo i-Wob2 con boquillas de distinto tipo y emiten un caudal en forma progresiva hacia el final del sistema de riego, con el objetivo de depositar un caudal constante. En el Cuadro 2, se puede visualizar los valores de presión y caudal que se tiene para el mismo emisor con diferente boquilla que es usado a lo largo de todo el pivote central.

**Cuadro 2.** Características hidráulicas del emisor i-Wob2 para cada boquilla

Boquilla	"	mm	Presión		Caudal	
			PSI	m	L/hr	Lps
#6 Oro	3/12"	2.38	6	4.2186	141	0.0392
			10	7.031	182	0.0506
			15	10.5465	223	0.0619
#6.5 Oro	13/128"	2.59	6	4.2186	166	0.0461
			10	7.031	213	0.0592
			15	10.5465	261	0.0725
#7 Lima	7/64"	2.78	6	4.2186	193	0.0536
			10	7.031	248	0.0689
			15	10.5465	304	0.0844
#7.5 Lima	15/128"	2.97	6	4.2186	220	0.0611
			10	7.031	286	0.0794
			15	10.5465	350	0.0972
#8 Lavanda	1/8"	3.18	6	4.2186	252	0.0700
			10	7.031	325	0.0903
			15	10.5465	397	0.1103
#8.5 Lavanda	17/128"	3.38	6	4.2186	284	0.0789
			10	7.031	368	0.1022
			15	10.5465	450	0.1250
#9 Gris	9/64"	3.57	6	4.2186	318	0.0883
			10	7.031	411	0.1142
			15	10.5465	504	0.1400
#9.5 Gris	19/128"	3.76	6	4.2186	357	0.0992
			10	7.031	459	0.1275
			15	10.5465	563	0.1564



# MATERIALES Y MÉTODOS

**Cuadro 2.** Características hidráulicas del emisor i-Wob2 para cada boquilla

#10 Turquesa	5/32"	3.97	6	4.2186	395	0.1097
			10	7.031	509	0.1414
			15	10.5465	625	0.1736
#10.5 Turquesa	21/128"	4.17	6	4.2186	436	0.1211
			10	7.031	561	0.1558
			15	10.5465	688	0.1911
#11 Amarillo	11/64"	4.37	6	4.2186	477	0.1325
			10	7.031	618	0.1717
			15	10.5465	756	0.2100
#11.5 Amarillo	23/128"	4.57	6	4.2186	522	0.1450
			10	7.031	675	0.1875
			15	10.5465	827	0.2297
#12 Rojo	3/16"	4.76	6	4.2186	570	0.1583
			10	7.031	736	0.2044
			15	10.5465	902	0.2506
#12.5 Rojo	25/128"	4.95	6	4.2186	618	0.1717
			10	7.031	799	0.2219
			15	10.5465	979	0.2719
#13 Blanco	13/64"	5.16	6	4.2186	670	0.1861
			10	7.031	865	0.2403
			15	10.5465	1058	0.2939
#13.5 Blanco	27/128"	5.36	6	4.2186	722	0.2006
			10	7.031	933	0.2592
			15	10.5465	1142	0.3172
#14 Azul	7/32"	5.56	6	4.2186	777	0.2158
			10	7.031	1004	0.2789
			15	10.5465	1229	0.3414
#14.5 Azul	29/128"	5.77	6	4.2186	834	0.2317
			10	7.031	1077	0.2992
			15	10.5465	1320	0.3667

#15 Marrón Osc.	15/64"	5.95	6	4.2186	893	0.2481
			10	7.031	1154	0.3206
			15	10.5465	1413	0.3925
#15.5 Marrón Osc.	31/128"	6.15	6	4.2186	954	0.2650
			10	7.031	1231	0.3419
			15	10.5465	1508	0.4189
#16 Naranja	1/4"	6.35	6	4.2186	1018	0.2828
			10	7.031	1313	0.3647
			15	10.5465	1608	0.4467
#17.5 Verde Osc.	35/128"	6.93	6	4.2186	1217	0.3381
			10	7.031	1572	0.4367
			15	10.5465	1924	0.5344
#18 Púrpura	9/32"	7.14	6	4.2186	1288	0.3578
			10	7.031	1663	0.4619
			15	10.5465	2035	0.5653
#18.5 Púrpura	37/128"	7.34	6	4.2186	1360	0.3778
			10	7.031	1756	0.4878
			15	10.5465	2151	0.5975
#19 Negro	19/64"	7.54	6	4.2186	1433	0.3981
			10	7.031	1851	0.5142
			15	10.5465	2267	0.6297
#19.5 Negro	39/128"	7.75	6	4.2186	1510	0.4194
			10	7.031	1949	0.5414
			15	10.5465	2387	0.6631



# MATERIALES Y MÉTODOS

**Cuadro 2.** Características hidráulicas del emisor i-Wob2 para cada boquilla

#20 Turquesa Osc.	5/16"	7.94	6	4.2186	1588	0.4411
			10	7.031	2049	0.5692
			15	10.5465	2510	0.6972
#20.5 Turquesa Osc.	41/128"	8.13	6	4.2186	1667	0.4631
			10	7.031	2151	0.5975
			15	10.5465	2635	0.7319
#21 Mostaza	21/64"	8.33	6	4.2186	1749	0.4858
			10	7.031	2255	0.6264
			15	10.5465	2764	0.7678
#21.5 Mostaza	45/128"	8.53	6	4.2186	1831	0.5086
			10	7.031	2362	0.6561
			15	10.5465	2894	0.8039
#22 Granate	11/32"	8.73	6	4.2186	1915	0.5319
			10	7.031	2471	0.6864
			15	10.5465	3028	0.8411
#22.5 Granate	45/128"	8.94	6	4.2186	2001	0.5558
			10	7.031	2582	0.7172
			15	10.5465	3162	0.8783

El sistema de riego abarca un área total de 78.95 ha, con un funcionamiento circular (360°).

A efectos de que se desconoce con exactitud el Q y la H de la bomba, el procedimiento a usar fue asignarle un reservorio de volumen de agua infinito a diferentes cotas a fin de observar cómo varían las presiones dentro del sistema considerando las características hidráulicas de las boquillas de los emisores y el hecho de que existen válvulas reguladoras de presión.





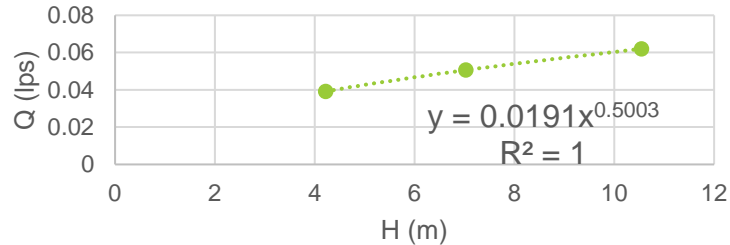
# MATERIALES Y MÉTODOS

## Configuración de los nodos

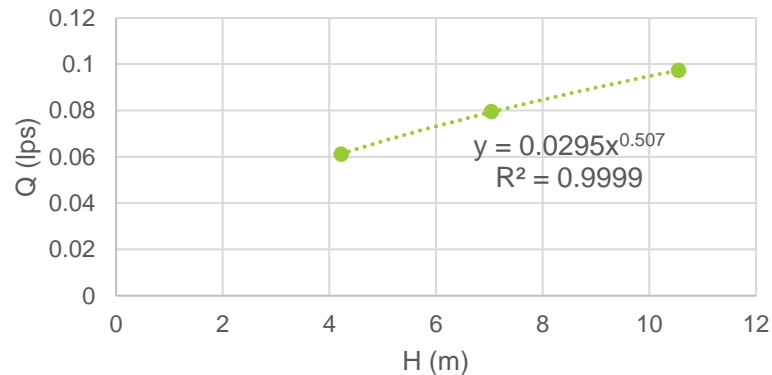
$$q = kh^x$$

Donde:  
 k: coef. De descarga característico del emisor  
 h: Presión hidráulica a la entrada del emisor (m)  
 x: exponente de descarga del emisor

Curva Q-H #6 Oro



Curva Q-H #7.5 Lima



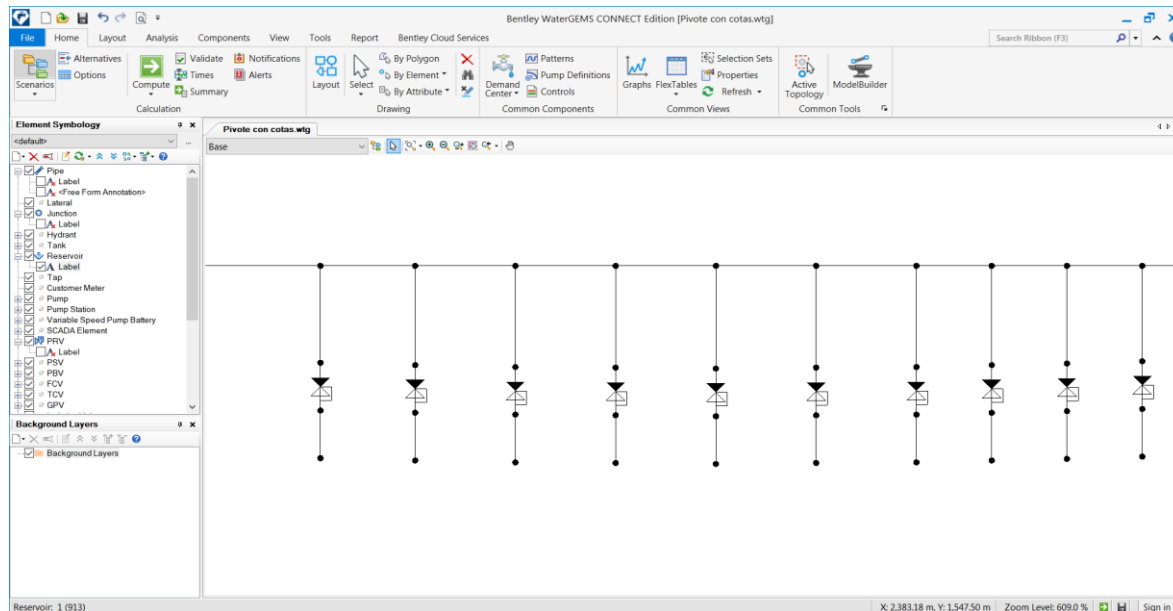
Boquilla	Coeficiente	Exponente	H (m)	Q (lps)	Coeficiente	Q calculado	Dif. %
#6 Oro	0.01910	0.50030	7.031	0.05068	0.01911	0.05067	0.01%
#6.5 Oro	0.02260	0.49360	7.031	0.05918	0.02232	0.05918	0.01%
#7 Lima	0.02620	0.49560	7.031	0.06888	0.02598	0.06888	-0.01%
#7.5 Lima	0.02950	0.50700	7.031	0.07930	0.02991	0.07930	-0.01%
#8 Lavanda	0.03430	0.49610	7.031	0.09026	0.03404	0.09025	0.01%
#8.5 Lavanda	0.03830	0.50250	7.031	0.10205	0.03849	0.10205	0.00%
#9 Gris	0.04280	0.50260	7.031	0.11407	0.04302	0.11406	0.00%
#9.5 Gris	0.04850	0.49690	7.031	0.12783	0.04821	0.12782	0.00%
#10 Turquesa	0.05330	0.50060	7.031	0.14150	0.05336	0.14148	0.01%
#10.5 Turquesa	0.05910	0.49760	7.031	0.15598	0.05883	0.15598	0.00%
#11 Amarillo	0.06430	0.50280	7.031	0.17143	0.06466	0.17144	0.00%
#11.5 Amarillo	0.07040	0.50220	7.031	0.18748	0.07071	0.18748	0.00%
#12 Rojo	0.07700	0.50090	7.031	0.20453	0.07714	0.20453	0.00%
#12.5 Rojo	0.08330	0.50210	7.031	0.22179	0.08365	0.22179	0.00%
#13 Blanco	0.09080	0.49870	7.031	0.24016	0.09058	0.24016	0.00%
#13.5 Blanco	0.09760	0.50050	7.031	0.25905	0.09770	0.25904	0.00%
#14 Azul	0.10500	0.50050	7.031	0.27869	0.10511	0.27868	0.00%
#14.5 Azul	0.11260	0.50110	7.031	0.29921	0.11285	0.29921	0.00%
#15 Marrón Osc.	0.12060	0.50090	7.031	0.32035	0.12082	0.32034	0.00%
#15.5 Marrón Osc.	0.12910	0.49970	7.031	0.34212	0.12904	0.34213	0.00%
#16 Naranja	0.13790	0.49890	7.031	0.36487	0.13762	0.36488	0.00%
#17.5 Verde Osc.	0.16460	0.49990	7.031	0.43637	0.16458	0.43636	0.00%
#18 Púrpura	0.17440	0.49920	7.031	0.46172	0.17415	0.46173	0.00%
#18.5 Púrpura	0.18380	0.50030	7.031	0.48765	0.18392	0.48764	0.00%
#19 Negro	0.19360	0.50060	7.031	0.51395	0.19384	0.51394	0.00%
#19.5 Negro	0.20430	0.49980	7.031	0.54151	0.20423	0.54149	0.00%
#20 Turquesa Osc.	0.21490	0.49960	7.031	0.56939	0.21475	0.56938	0.00%
#20.5 Turquesa Osc.	0.22550	0.49970	7.031	0.59759	0.22538	0.59756	0.00%
#21 Mostaza	0.23670	0.49940	7.031	0.62690	0.23645	0.62691	0.00%
#21.5 Mostaza	0.24770	0.49960	7.031	0.65629	0.24752	0.65626	0.00%
#22 Granate	0.25890	0.50000	7.031	0.68650	0.25892	0.68649	0.00%
#22.5 Granate	0.27090	0.49930	7.031	0.71734	0.27055	0.71733	0.00%
Promedio		0.49995					



# MATERIALES Y MÉTODOS

## Trazado de la red

Para el trazado de la red, se procedió a generarlo dentro del propio programa WaterGEMS, dentro de la Figura 1, se muestra el proceso de delimitar las líneas, nodos y válvulas asignándoles su valor correspondiente dependiendo del tipo de datos

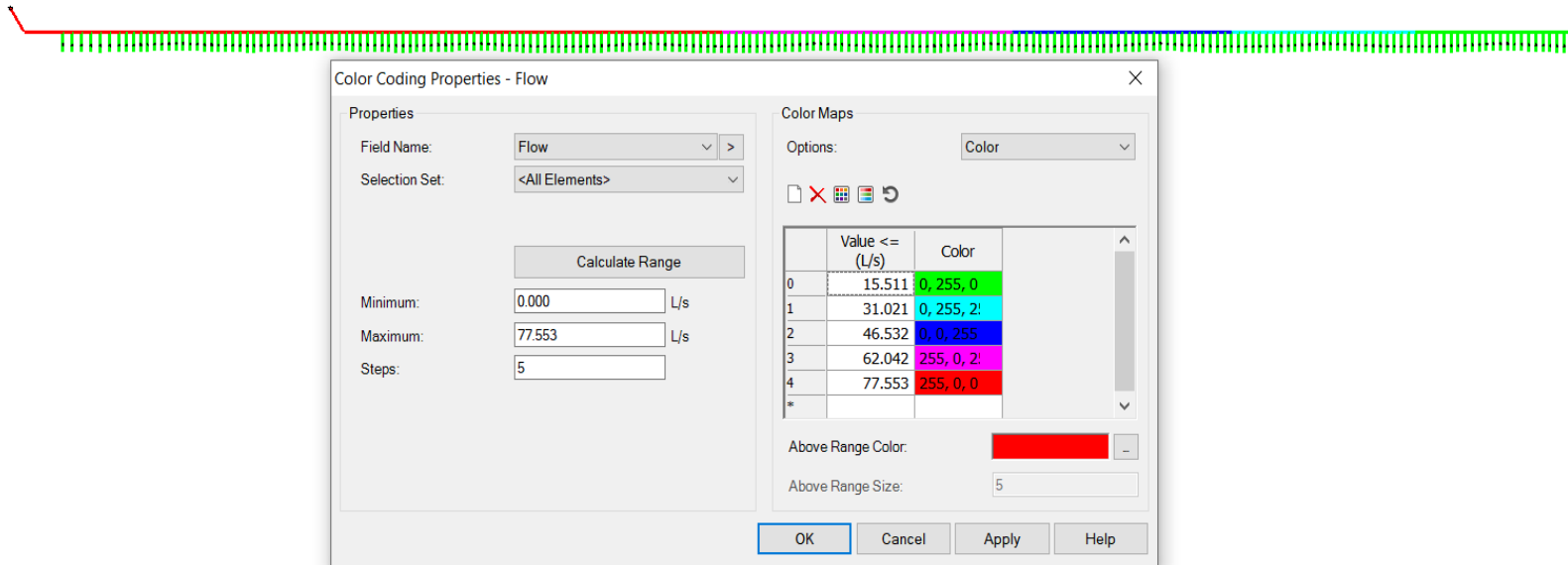




# RESULTADOS

## Gasto de las líneas

A partir de la calibración inicial de los datos de entrada para nodos y líneas, el programa WaterGEMS realizó la simulación hidráulica. Como se muestra en la Figura 2, se encuentra representado la variación gráfica del gasto que corre a través del pivote central, como es de suponerse, al inicio del sistema se tiene el máximo gasto igual a 77.553 lps. Por cada bajante se hace el descuento de lo que el emisor expulsa a partir de la presión que le llega de acuerdo con su válvula que le tiene asignada.

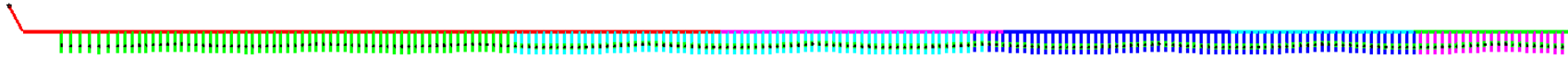




# RESULTADOS

## Velocidades de las líneas

En la Figura 3, se muestra la variación gráfica de las velocidades del agua dentro del sistema de riego, como se observa, la máxima velocidad está en el orden de 3.73 m/s, la división de colores para mostrar en la ventana, se hizo para cinco secciones, la cual el programa dividió de manera equivalente.



Color Coding Properties - Velocity

Properties

Field Name: Velocity

Selection Set: <All Elements>

Calculate Range

Minimum: 0.00 m/s

Maximum: 3.73 m/s

Steps: 5

Color Maps

Options: Color

	Value <= (m/s)	Color
0	0.75	0, 255, 0
1	1.49	0, 255, 255
2	2.24	0, 0, 255
3	2.98	255, 0, 255
4	3.73	255, 0, 0
*		

Above Range Color: [Red]

Above Range Size: 5

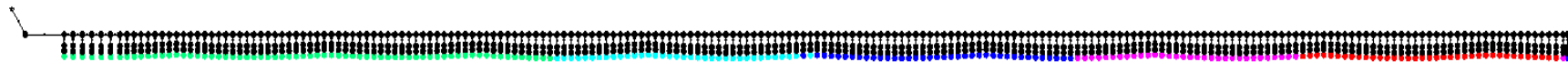
OK Cancel Apply Help



# RESULTADOS

## Demanda en los nodos

En la Figura 4, se muestra la variación gráfica de la cantidad de agua que sale de cada emisor dentro del sistema de riego, como se observa, la máxima demanda está en el orden de 0.717 lps, la división de colores para mostrar en la ventana, se hizo para seis secciones, la cual el programa dividió de manera equivalente.



Color Coding Properties - Demand

Properties

Field Name: Demand

Selection Set: <All Elements>

Calculate Range

Minimum: 0.000 L/s

Maximum: 0.717 L/s

Steps: 6

Color Maps

Options: Color

	Value <= (L/s)	Color
0	0.010	
1	0.239	0, 255, 1
2	0.359	0, 255, 2
3	0.478	0, 0, 255
4	0.598	255, 0, 2
5	0.717	255, 0, 0

Above Range Color: [Red]

Above Range Size: 6

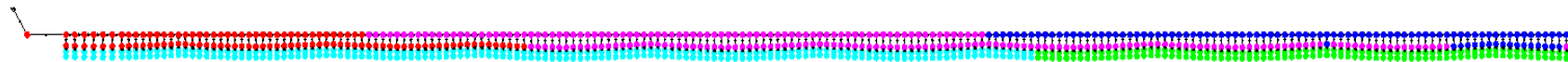
OK Cancel Apply Help



# RESULTADOS

## Presión en los nodos

En la Figura 5, se muestra la distribución de las presiones, dentro del sistema, pero como antes se mencionó, la forma de proporcionarle agua al pivote central fue por medio de la asignación de un reservorio de volumen infinito con cota arbitraria. Por lo que, considerando el hecho de que existen válvulas reguladoras de presión, en la parte inicial del emisor, la presión que marca es con la que operaría cada aspersor.



Color Coding Properties - Pressure

Properties

Field Name: Pressure

Selection Set: <All Elements>

Calculate Range

Minimum: 0.0000 m H2O

Maximum: 47.3982 m H2O

Steps: 5

Color Maps

Options: Color

	Value <= (m H2O)	Color
0	9.4796	0, 255, 0
1	18.9593	0, 255, 255
2	28.4389	0, 0, 255
3	37.9186	255, 0, 255
4	47.3982	255, 0, 0
*		

Above Range Color: [Red]

Above Range Size: 5

OK Cancel Apply Help



# CONCLUSIÓN

A partir de la simulación hidráulica del sistema de riego por pivote central en el programa WaterGEMS, fue posible conocer los parámetros hidráulicos necesarios para revisión y para evaluación del equipo, ya que, los resultados arrojados por el simulador hidráulico fueron el caudal que pasa por las tuberías, las velocidades que corren dentro del sistema, el gasto que proporciona cada emisor y la presión con la que opera cada aspersor, es por ello, que este software cumple con las condiciones de calidad en cuanto a visualización de resultados, herramientas para cálculo de parámetros hidráulicos, adaptabilidad y tolerancia al número de elementos introducidos.





# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bentley. (2019). WaterGEMS CONNECT Edition Help. Consultado en mayo de 2021, de Bentley Systems Sitio web: <https://docs.bentley.com/LiveContent/web/Bentley%20WaterGEMS%20OSS6-v1/en/GUID-EE4EA18F-F9CE-43C7-93E5-906EEF8A0FC9.html>

Cisneros, E., González, A., García, A., Placeres, Z., y Jiménez, E. (2014). Evaluación y propuesta de medidas en diferentes técnicas de riego por aspersión para un uso eficiente del agua. INGENIERÍA AGRÍCOLA, 4, 22-28.

Rodríguez, E., y Troncoso, J. (2005). Evaluación técnica y económica de un sistema de riego por pivote central. Revistas electrónicas UACH

Tarjuelo, J. (2005). El riego por aspersión y su tecnología.: Ediciones Mundi-Prensa.







"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"



## Sexto Congreso Nacional de Riego, Drenaje y Biosistemas

COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



# ¡GRACIAS!

**Bruno Aleredo Díaz Quinto**

**Universidad Autónoma Chapingo**



Correo electrónico:  
brunoa.diazquinto@gmail.com



Enseñar la explotación de la tierra,  
no la del hombre

