



“2021: Año de la independencia”

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA  
SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL VALLE DE MORELIA**

“ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO ARÁNDANO  
EN EL MUNICIPIO DE ACUTZIO DEL CANJE, MICH.”

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PRESENTA:

**SALVADOR ALÍ VILLANUEVA NAVA**

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERÍA EN AGRONOMÍA**

ASESOR INTERNO:

**DR. LENIN EJECATL MEDINA OROZCO**

MORELIA, MICHOACÁN, OCTUBRE DE 2021



Km 6.5 Carretera Morelia - Salamanca,  
C.P. 58100 Morelia, Mich. Tel:  
4433500660

e-mail: [dir\\_vmorrelia@tecnm.mx](mailto:dir_vmorrelia@tecnm.mx)  
[tecnm.mx](http://tecnm.mx) | [vmorrelia.tecnm.mx](http://vmorrelia.tecnm.mx)





**ANEXO XXXIII. FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL**

Morelia, Michoacán; a 15 de septiembre del 2021

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral.

**C. ALBERTO MILLÁN MONTAÑEZ**  
**JEFE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**PRESENTE**

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre del estudiante y/o egresado:	Salvador Ali Villanueva Nava
Carrera:	Ingeniería en Agronomía
No. de control:	15850075
Nombre del proyecto:	"ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA EN EL CULTIVO ARÁNDANO EN EL MUNICIPIO DE ACUTZIO DEL CANJE, MICH."
Producto:	Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

**ATENTAMENTE**



*Adriana Fernández Pérez.*

**ADRIANA FERNÁNDEZ PÉREZ**

**JEFA DE INGENIERÍAS (CIENCIAS AGROPECUARIAS)**

<b>LENÍN EJECATL MEDINA OROZCO</b>	<b>VERONICA JANETTE CEDENO GARCIDUEÑAS</b>	<b>ADRIANA FERNÁNDEZ PÉREZ</b>	<b>ALEXANDER SÁNCHEZ DUQUE</b>

\* solo aplica para el caso de tesis o tesina  
c.c.p.- Expediente.



## **AGRADECIMIENTO**

A mi escuela el Instituto Tecnológico del Valle de Morelia por permitirme realizar mi preparación profesional en su Institución.

A los docentes que me impartieron clases en cada materia y extraescolar para mi preparación profesional.

A mi asesor interno, al Dr. Lenin EjecatI Medina Orozco por el apoyo que me brindó durante la realización de mi tesis.

A la Dra. Rebeca González Villegas por el apoyo que me brindó durante las materias impartidas y en mi estancia escolar.

A la Dra. Martha Perales y al Centro Regional Centro Occidente por el apoyo brindado para la elaboración de mi proyecto de tesis.

A mi familia por el por su apoyo y en especial a mi madre y hermana por la confianza y es fuerza con el que me ayudo para poder terminar mi licenciatura.

A mi tío el M.C. Ezequiel Villanueva Nava por el apoyo y enseñanza que me brindo en cada momento que conviví con él.

A todos mis amigos y compañeros que estuvieron conmigo durante la estancia que tuve en toda mi carrera profesional.

A mi integración al proyecto de Huella Hídrica de arándano bajo agricultura protegida en el estado de Michoacán. Fortalecimiento de Cuerpos Académicos. 2020

## RESUMEN

En México el tema de la escasez de agua es un problema a enfrentar en la actualidad, en donde se ha indagado en nuevos métodos para el aprovechamiento del agua en sus diversos usos. Como el 70 % del agua dulce que consume la humanidad se utiliza en la agricultura; las investigaciones actuales han tenido como objetivo principal la recolección de información para conocer la estimación del consumo de agua eficiente de la misma.

La Huella Hídrica (HH) es uno de los nuevos métodos de investigación que ayuda a medir la cantidad de agua consumida en el proceso productivo, ya sea industrial o agrícola.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo realizar una estimación de Huella Hídrica en la producción del cultivo de arándano bajo un sistema de macrotúnel en el municipio de Acuitzio del Canje, Michoacán; Se realizó una propuesta metodológica basada en el Manual de la *Water Footprint Network* (WFN), con el fin de adecuarlo a los requerimientos requeridos en cultivos de arándano en hidroponía bajo condiciones de macrotúnel.

El valor obtenido de la Huella Hídrica en el cultivo fue aproximadamente de  $62.27 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  con una densidad población de 9000 plantas/ha, es decir, un consumo de agua de 62.27 L por kilogramo de arándano producido; el componente con mayor porcentaje fue la Huella Azul (HA) con un 66.02 % y la Huella Gris (HG) con un 33.98 %. Al ser un sistema cerrado y controlado no se contempló en la estimación de HH, la Huella Verde (HV).

Al realizar la presente investigación se encontraron limitantes para la aplicación del indicador de la Huella Hídrica en sistemas controlados, relacionado con la escasa información que existe respecto al tema; en nuestro país; por lo que se espera que la presente investigación sea coadyuvante para construir una herramienta útil para uso eficiente del agua en la agricultura.

## ABSTRACT

In Mexico, the issue of water scarcity is a problem to be faced today, where new methods have been investigated for the use of water in its various uses. As in agriculture, the consumption of fresh water refers to 70% that is produced in the world; where current research has had as its main objective the collection of information to know the estimate of water consumption.

The Water Footprint is one of the new research methods that helps to measure the amount of water consumed in the production process, whether industrial or agricultural.

This research work performs an estimate of the Water Footprint in the production of the blueberry crop under a macro tunnel system in the municipality of Acutzio del Canje, Mich; where a methodological proposal based on the Manual of the Water Footprint Network (WFN) is made, in order to adapt it to the required requirements.

The value obtained from the Water Footprint in the crop was approximately 62.27 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> with a population of 9000 plants; The component with the highest percentage was the Blue Footprint with 66.02% and the Gray Footprint with 33.98%. As it is a controlled system, the Green Footprint was not considered, so its value is 0.

When carrying out the present investigation, limitations were found for the application of the Water Footprint indicator in controlled systems, related to the scarce information that exists on the subject; in which it is expected that this research will contribute to building a useful tool for efficient use of water in agriculture.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
<b>3. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	5
<b>3.1. Objetivo general</b> .....	5
<b>3.2. Objetivos específicos</b> .....	5
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	6
<b>5. ALCANCE DEL PROYECTO</b> .....	7
<b>6. MARCO TEÓRICO</b> .....	8
<b>6.1 Agua virtual</b> .....	8
<b>6.4 Huella Hídrica</b> .....	8
<b>6.4.1 Evaluación de la Huella Hídrica</b> .....	9
<b>6.5.1 Huella Hídrica Verde</b> .....	9
<b>6.5.2 Huella Hídrica Azul</b> .....	10
<b>6.5.3 Huella Hídrica Gris</b> .....	11
<b>6.6 Agua virtual y huella hídrica en la agricultura</b> .....	12
<b>6.7 Eficiencia del agua en la agricultura.</b> .....	13
<b>6.8 Origen y distribución del arándano</b> .....	14
<b>6.9 Características generales del arándano</b> .....	15
<b>6.10 Descripción botánica</b> .....	15
<b>6.10.1 Raíces</b> .....	15
<b>6.10.2 Tallos</b> .....	15
<b>6.10.3 Yemas vegetativas</b> .....	15

6.10.4 Yemas florales .....	16
6.10.5 Flor .....	16
6.10.6 Fruto .....	16
6.10.7 Poda .....	16
6.10.8 Poda de formación .....	16
6.10.9 Poda de producción .....	16
6.10.10 Polinización .....	17
6.11 Sustratos .....	17
6.12 Propiedades de los sustratos .....	17
6.12.1 <i>Propiedades mecánicas</i> .....	17
6.12.2 <i>Propiedades físicas</i> .....	18
6.12.3 <i>Propiedades químicas</i> .....	18
6.12.4 <i>Fibra de coco</i> .....	18
6.13 Nutrición mineral en las plantas.....	19
6.14 Desarrollo histórico en México.....	20
6.15 Elementos esenciales.....	20
6.16 Criterios de clasificación a los nutrientes. ....	21
6.16.1 Criterios establecidos para definir un elemento como esencial ( <i>criterios de esencialidad de Arnon y Stout</i> ). ....	21
6.17 Nitrógeno.....	22
6.17.1 <i>Funciones del nitrógeno en las plantas</i> .....	22
6.17.2 Nitrógeno en el agua.....	22
6.18 <i>Límites permisibles de NO<sub>3</sub></i> .....	23
7. METODOLOGÍA .....	24
7.1 Sitio de estudio.....	24

7.2 Identificación del sistema de producción.....	24
7.3 Etapa fenológica .....	24
7.4 Selección de plantas a evaluar .....	24
7.5 Riego.....	25
7.5.1 Medición del volumen de riego y escurrimiento por planta .....	25
7.6 Periodo de estudio.....	25
7.7 Producción .....	26
7.8 Estimación de la Huella Hídrica.....	26
7.9 Agua Virtual en cultivo de arándano en Michoacán .....	26
7.10 Huella verde .....	27
7.11 Huella Azul .....	27
7.12 Huella Gris.....	27
7.13 Determinación de límites permisibles del NO <sub>3</sub> .....	28
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
8.1 Establecimiento y evaluación del cultivo. ....	29
8.2 Rendimiento del cultivo .....	30
8.3 HUELLA HIDRICA .....	31
8.3.1 Huella Azul.....	31
8.3.2 Límites permisibles.....	32
8.3.3 Huella Gris .....	32
8.4 Huella Hídrica calculada.....	33
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>10. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>40</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>1</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Eficiencia del uso del agua. Fuente: Salazar et,al.2014 .....	13
Cuadro 2. Estimación de la Huella Azul .....	31
Cuadro 3. Estimación de la Huella Gris.....	33
Cuadro 4. Límites permisibles de NO <sub>3</sub> . .....	32
Cuadro 5. Estimación de Huella Hídrica.....	33
Cuadro 6. Eficiencia de riego aplicado. ....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama para estimar agua virtual en condiciones de invernadero.....	27
Figura 2 Distribución de plantas seleccionadas en macro túnel.....	29
Figura 3 Plantas seleccionadas para la investigación .....	30
Figura 4 Aportación de la HA y HG en el cultivo de Arándanos .....	35

# 1. INTRODUCCIÓN

El 70 % de nuestro planeta está cubierto por agua; sin embargo el 98 % es del tipo salada y la tecnología actual para tratarla y usarla con fines de consumo humano o riego es todavía restringida, debido a sus altos costos. Aún más, la mayor parte del 2 % del agua dulce se localiza en los casquetes polares o en los acuíferos, por lo que sólo queda disponible el 0.014 % en los lagos y ríos de la superficie terrestre (Arreguín-Cortés, 1991).

El agua dulce proviene de la precipitación pluvial generada por la evaporación del agua de los océanos y mares. Como parte del ciclo hidrológico, anualmente llueven 110 000 km<sup>3</sup> de agua, de los cuales 70 000 km<sup>3</sup> se evaporan. El resto, 40 000 km<sup>3</sup>, están distribuidos de manera muy desigual en las distintas regiones de la Tierra y las dos terceras partes de estos se pierden por razones como el crecimiento demográfico y su mala utilización, aunados a la contaminación, la deforestación, la urbanización y la menor recarga de los mantos freáticos (Villalobos *et al.*, 2017).

Como mencionan Villalobos *et al.* (2017), en la agricultura se consume el 70 % del agua dulce que se extrae anualmente en el mundo; el resto se destina a usos domésticos e industriales.

En este contexto, a mediados de los años de 1990 se formula el concepto de Agua Virtual (AV) que fue introducido por Allan (1998), que se define como la cantidad de agua utilizada de modo directo e indirecto para la realización de un bien, producto o servicio; en el caso de la agricultura también contempla el contenido en el producto o fruto obtenido. Como menciona Hoekstra (2008) se concientiza el hecho de que la elaboración de cada producto va asociado a un consumo que ha de considerarse al planificar la producción.

El estimar la cantidad de agua virtual es de suma importancia, por tener una relación fundamental con la Huella Hídrica. Al respecto Vázquez del Mercado y Lambarri (2017) definen a la Huella Hídrica como un indicador del impacto del consumo humano en el agua dulce. Surge del reconocimiento de que los impactos de

las actividades humanas en los sistemas que pueden ser relacionados con el comercio internacional y el consumo de bienes y servicios.

México es un importador neto de agua virtual, es decir, el volumen de AV de sus importaciones, es superior al de sus exportaciones; durante el periodo 1996 a 2005, fue el segundo importador neto en el mundo, solo después de Japón, y el mayor en América, tanto por comercio agrícola, como pecuario e industrial (Mekonnen y Hoekstra, 2011).

La Huella Hídrica en México es muy poco conocida, por lo cual ha sido un tema de mucho interés para realizar nuevas investigaciones, como mencionan Vázquez del Mercado y Lambarri (2017) es necesario estudiar con detalle la sostenibilidad de la Huella Hídrica de México, así como la relación entre sus recursos hídricos y soberanía alimentaria, para orientar y articular de mejor manera las políticas públicas, especialmente de las hídricas, ambientales, agrícolas, comerciales y energéticas.

El cultivo del arándano en México ha tenido un crecimiento importante por su gran demanda en el comercio internacional y por su buena rentabilidad para los medianos y grandes productores del país; Uno de sus factores de mayor importancia es la aplicación de agua en el cultivo. La distribución del agua dentro del suelo tiene un efecto importante en la producción de arándanos, de modo que el riego es un factor a considerar dentro del manejo del cultivo, principalmente por el sistema radical superficial de esta especie. Estudios recientes, muestran incrementos de hasta el 43 % en el rendimiento de arándano con la aplicación de riego (Uribe, 2013).

La Huella Hídrica aún es poco difundida en México, resulta alentador que ya empieza a haber estudios e investigaciones que dan muestra de la utilidad y distintas aplicaciones que puede tener este indicador (Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017). En el presente trabajo de investigación se planteó como propósito el generar información de la Huella Hídrica en cultivo de arándano en un sistema controlado de macrotúnel con la finalidad de conocer el consumo de agua en este sistema de producción. El cultivo de referencia para el estudio de la HH se encuentra localizado en el municipio de Acutzio del Canje, Michoacán; que representa un punto de partida para investigaciones futuras.

## 2. ANTECEDENTES

El agua es un elemento esencial para la vida. Es esencial para el origen y evolución de todos los organismos vivos y ha sido, es y será un elemento fundamental para la humanidad y para las demás especies vivas. Con el crecimiento demográfico de mediados del siglo pasado y con el incremento de la urbanización y la industrialización, el suministro de agua dulce para una sociedad dinámica y en desarrollo se volvió un tema esencial (Villalobos *et al.*, 2017)

Muchas regiones del mundo han alcanzado el límite de aprovechamiento del agua, lo que las ha llevado a sobreexplotar los recursos hidráulicos superficiales y subterráneos, creando un impacto negativo en el ambiente. En los países en los que se depende del agua subterránea para el riego, como en el caso de México, el exceso de extracción está provocando que los niveles freáticos de agua dulce estén descendiendo a un ritmo muy alarmante (Salazar *et al.*, 2014). El agua es un recurso estratégico y de importancia para fomentar y desarrollar la agricultura, la cual proporciona alimentos para consumo humano y animal así como materias primas para la industria nacional y del exterior (Aceves, 1988).

De acuerdo con la FAO (2013) de todos los sectores la agricultura es el más sensible a la escasez de agua. A veces el sector agrícola es considerado como un usuario 'residual' del agua, después de los sectores doméstico e industrial, sin embargo supone el 70 % de las extracciones globales de agua dulce y más del 90 % del uso consuntivo.

Desde tiempos ancestrales, el riego ha sido un factor esencial para el crecimiento de la agricultura y de la producción de alimentos. La superficie agrícola irrigada tuvo un crecimiento notable entre 1800 y 1990. En el siglo XIX creció seis veces y hasta 1990 casi cinco veces. A lo largo del siglo XX el consumo mundial de agua aumentó casi diez veces. Sin embargo, con el desarrollo industrial, tecnológico y urbano que ha tenido lugar en la pasada centuria, la utilización del líquido en la agricultura ha disminuido proporcionalmente de manera significativa. De consumir el 90 % al comenzar el siglo, disminuyó al 62 % al concluir este. Al mismo tiempo, se

estima que aumentó la utilización del volumen de agua disponible, al pasar de 5 % a 35 % en ese periodo (Villalobos *et al.*, 2017).

La producción de bienes y servicios generalmente requiere agua. El agua utilizada en el proceso de producción de un producto agrícola o industrial se denomina 'agua virtual' contenida en el producto. El concepto de "agua virtual" fue introducido por Allan a principios de los noventa (Allan, 1998). Tardó casi una década, el que se obtuviera el reconocimiento mundial de la importancia del concepto para alcanzar el nivel regional y mundial seguridad del agua, que es un tema más generalizado a la Huella Hídrica (Hoekstra, 2003).

Vázquez del Mercado y Lambarri (2017) definen la Huella Hídrica como un indicador que muestra la apropiación humana de los recursos hídricos. Se refiere al volumen total de agua dulce empleado para producir algo, ya sea que se haya incorporado al producto, evapotranspirado por algún cultivo, devuelto a otra cuenca, o empleado por algún cuerpo de agua para asimilar la carga contaminante. Su estudio permite visualizar el uso oculto del agua y su impacto a lo largo de toda la cadena productiva, ayuda a identificar cómo y dónde el consumo en un lugar impacta los recursos hídricos de otro lugar, ampliando así nuestra comprensión de la problemática hídrica y de sus alternativas de solución.

Los grandes desafíos en materia de agua en México y en el mundo, nos obligan a revisar las políticas públicas y las formas de producción y consumo. La Huella Hídrica puede aportar una nueva perspectiva, complementando a otros indicadores para orientar las políticas públicas y ayudar en la toma de decisiones, tanto gubernamentales como empresariales, sociales y personales, que promuevan una gestión más sostenible, eficiente y justa del agua dulce. No obstante que la Huella Hídrica aun es poco conocida en México, resulta alentador que ya empieza a haber estudios e investigaciones que dan muestra de la utilidad y de las distintas aplicaciones que puede tener este indicador (Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017).

### **3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **3.1. Objetivo general**

- Estimar el agua virtual a partir de los componentes de la Huella Hídrica durante el proceso de producción de un cultivo de arándano bajo tecnología de macrotúnel e hidroponía.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Obtener los parámetros de la Huella Hídrica de la producción en sistemas de macrotúnel e hidroponía.
- Estimar la Huella Hídrica con base en el agua azul y gris del cultivo.
- Contrastar los límites permisibles  $\text{NO}_3$  para aguas destinadas a consumo humano con el agua gris que drena del cultivo establecido.

## **4. HIPÓTESIS**

El cultivo de arándano producido bajo un sistema de macrotúnel en un modelo hidropónico con sustrato de fibra de coco, demanda una gran cantidad de recurso hídrico (agua virtual) que puede ser expresado a partir de la Huella Hídrica (HH) durante todo el ciclo de producción del cultivo de arándano a nivel de campo.

Realizar una comparación del cultivo de arándanos con distintos cultivos y su consumo del recurso hídrico desde su establecimiento hasta la etapa de cosecha y así estudiar los resultados obtenidos y poder demostrar que el arándano tiene un consumo menor de agua durante su ciclo de producción.

## **5. ALCANCE DEL PROYECTO**

En el presente estudio se midió la huella hídrica de la producción de arándano, limitada única y exclusivamente al uso de agua en campo (agua virtual); sin considerar, el consumo de agua para la manufacturación (empaquete) transporte y comercialización que se entiende como huella hídrica total de un producto o servicio.



## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1 Agua virtual**

El agua virtual es el agua 'incorporada' en un producto, no en el sentido real, sino en el sentido virtual. Se refiere en todo caso, al agua necesaria para la producción del producto. El agua virtual también se ha llamado "agua embebida" o "agua exógena", esta última, se refiere al hecho de que la importación de agua virtual en un país significa agua exógena para el país importador. Por lo tanto, el agua exógena debe añadirse a las "aguas indígenas o autóctonas" de un país (Haddadin, 2003).

### **6.2 Componentes del agua virtual**

El agua virtual está dividida en los mismos tres componentes de la Huella Hídrica: verde, azul y gris. Los tres componentes de la Huella Hídrica y el Agua Virtual tienen significados similares; sin embargo, diferencia es que el Agua Virtual se refiere al agua comprendida para la elaboración o producción (Vernaza, 2014).

### **6.3 Importancia del agua virtual en la producción de alimentos.**

El agua consumida en el proceso de producción de un producto agrícola o industrial se ha denominado el 'agua virtual' contenida en el producto (Allan, 1998). Si un país exporta un producto intensivo en agua a otro país, exporta agua en forma virtual. De esta manera, algunos países apoyan a otros países en sus necesidades de agua. Para los países con escasez de agua, podría ser atractivo lograr la seguridad del agua mediante la importación de productos intensivos en agua en lugar de producir todos los productos que requieren agua en el país (Zimmer y Renault, 2003).

### **6.4 Huella Hídrica**

La huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce que se refiere no solo al uso directo del agua de un consumidor o productor, sino también al uso indirecto del agua. La huella hídrica puede considerarse como un indicador integral de la apropiación de recursos de agua dulce, junto a la medida tradicional y restringida de

extracción de agua. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua dulce utilizado para producir el producto, medido en toda la cadena de suministro. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuente y los volúmenes contaminados por tipo de contaminación (Hoekstra *et al.*, 2011).

#### **6.4.1 Evaluación de la Huella Hídrica**

Hoekstra *et al.* (2011) mencionan que la evaluación de la huella hídrica se refiere a la gama completa de actividades para:

1. Cuantificar y localizar la huella hídrica de un proceso, producto, productor o consumidor; cuantificar en espacio y tiempo la huella hídrica en un área geográfica específica;
2. Evaluar la sostenibilidad ambiental, social y económica de esta huella hídrica.
3. Formular una estrategia de respuesta.

En términos generales, el objetivo de evaluar las huellas hídricas es analizar cómo las actividades humanas o productos específicos se relacionan con los problemas de escasez y contaminación del agua, y ver cómo las actividades y productos pueden ser más sostenibles desde la perspectiva del agua.

#### **6.5 Componentes y tipos de Huella Hídrica**

La Huella Hídrica total se compone de la sumatoria de las huellas hídricas verde, azul y gris las cuales se describen a continuación, conforme a lo señalado en el Manual de evaluación de la Huella Hídrica (Hoekstra, *et al.*, 2011).

##### **6.5.1 Huella Hídrica Verde**

La Huella Hídrica verde es un indicador del uso humano del agua de lluvia. Se refiere a la precipitación sobre la tierra que no se infiltra ni escurre, sino que permanece en el suelo o en la vegetación (Hoekstra *et al.*, 2011). Es la parte de la precipitación que regresa a la atmósfera por evapotranspiración en campos agrícolas y plantaciones forestales, así como al agua incorporada en la cosecha o la plantación (Vázquez del Mercado & Lambarri, 2017).

De acuerdo a Hoekstra *et al.*, (2011) la huella hídrica verde puede ser representada en la siguiente ecuación:

$$WF_{proce.green} = \text{Evaporación Agua Verde} + \text{Incorporación Agua Verde} \\ \text{[volumen/tiempo]}$$

Ecuación 1. Componentes de Huella Verde.

### 6.5.2 Huella Hídrica Azul

Sellés *et al.* (2013) determinan que la huella hídrica azul es un indicador de uso de las aguas de superficie (cauces superficiales) o las aguas subterráneas. Normalmente corresponde a “Uso consuntivo del agua”, y que está referido a cada uno de los cuatro casos siguientes:

- El agua evaporada (ya sea directamente o a través de la transpiración de los cultivos) y corresponde al concepto agronómico de evapotranspiración;
- El agua incorporada en el producto.
- El agua que no vuelve a la misma cuenca hidrográfica, por ejemplo, se entrega a otra cuenca o al mar.
- El agua que no vuelve en el mismo periodo, por ejemplo, se retira en un período de escasez y regresa en uno húmedo.

De acuerdo con Hoekstra *et al.* (2011) en el caso de las hortalizas de invernadero, existe uso consuntivo del agua de la solución nutritiva en el proceso de evapotranspiración de la planta y su incorporación a los tejidos. Tras su uso, el agua vuelve a la misma zona de flujo y en el mismo período, para el cálculo de la huella azul se estableció esta ecuación.

$$WF_{proc,blue} : \text{Evaporación Agua Azul} + \text{Incorporación Agua Azul} \text{ [Volumen/ masa]}$$

Ecuación 2. Componentes de Huella Azul.

La unidad de huella hídrica azul de un proceso es el volumen de agua por unidad de tiempo, por ejemplo, por día, mes o año. Cuando se divide por la cantidad de

producto que se deriva del proceso, la huella hídrica de proceso también se puede expresar en términos de volumen de agua por unidad de producto (masa de producto en toneladas) (Hoekstra *et al.*, 2011).

El componente azul de la huella hídrica del proceso de crecimiento de un cultivo (WF proc, azul, m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>) se calcula como el componente azul en el uso de agua de los cultivos (Crop Water Use, CWU azul, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>) dividido por el rendimiento del cultivo (Y, t ha<sup>-1</sup>) en el cual se expresa en la siguiente fórmula.

$$WF_{\text{proc azul}} = \frac{CWU_{\text{blue}}}{Y} \text{ [Volumen/ masa]}$$

Ecuación 3. Cálculo de Huella Azul.

De acuerdo con el manual *The Water footprint* se menciona que el componente de la huella Azul en el uso del agua en los cultivos (CWU azul, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) se calcula teniendo en cuenta la acumulación de la evapotranspiración diaria (ET, mm·día<sup>-1</sup>) durante el período de crecimiento completo, en que se representa con la siguiente fórmula:

$$CWU_{\text{azul}} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} Et_{\text{azul}} \text{ [Volumen/masa]}$$

Ecuación 4. Uso de agua del cultivo.

La *ET azul* representa la evapotranspiración de agua azul. El factor 10 convierte la profundidad del agua medida en mm a volúmenes de agua de superficie en m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. La suma se realiza sobre el *lgp* (largo del periodo productivo), período comprendido entre el día de la siembra (día 1) hasta el día de la cosecha (*lgp* es igual a la duración del período de crecimiento en días) (Hoekstra *et al.*, 2011).

### 6.5.3 Huella Hídrica Gris

La huella hídrica gris es un indicador del grado de contaminación del agua dulce asociado con el proceso de producción. Se define como el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de los contaminantes provenientes del proceso

productivo, en relación con las normas ambientales de calidad del agua. Se calcula como el volumen de agua que se necesita para asimilar o diluir los contaminantes y llevar el agua hasta los estándares de calidad de agua convencionales (Sellés *et al.*, 2013).

La Huella Hídrica gris se calcula dividiendo la carga contaminante (L, en masa/tiempo) entre el estándar de calidad de agua del contaminante (concentración máxima aceptable,  $c_{\max}$  en masa/volumen), menos su concentración natural en el cuerpo receptor (Hoekstra *et al.*, 2011). En este estudio, se considero como indicador del contaminante al nitrato.

$$WF_{\text{prod.gris}} = \frac{L}{c_{\max} - c_{\text{nat}}} [\text{Volumen/tiempo}]$$

Ecuación 5. Cálculo de Huella Gris.

## 6.6 Agua virtual y huella hídrica en la agricultura

Los conceptos de agua virtual y huella hídrica fueron desarrollados a fines del siglo pasado y comienzos del presente. El primero ha contribuido a identificar cómo el consumo de agua en un lugar impacta los recursos hídricos de otro lugar. Tradicionalmente se ha considerado que el agua es un recurso nacional o internacional, en el caso de las cuencas compartidas, pero no se le ha visto como un recurso global y solo se ha considerado su consumo en función de la demanda de los usuarios nacionales, sin considerar la demanda de agua de los productos de exportación. Se requiere, por lo tanto, un cambio de paradigma en que se considere al agua como un recurso global y en que se tome en cuenta la relación entre el comercio de agua virtual, la escasez del líquido y la seguridad alimentaria (Villalobos *et al.*, 2017).

## 6.7 Eficiencia del agua en la agricultura.

Fernández y Camacho (2005) mencionan que La “eficiencia en el uso del agua (EUA)” o “productividad del agua (PA)” es la relación existente entre la biomasa presente en un cultivo por unidad de agua utilizada por éste, en un determinado momento. Cuando se pretende enfocar el empleo del agua por un componente meramente productivo y económico, se recurre a sustituir la biomasa por el rendimiento en kg de producto por m<sup>3</sup> de agua utilizada.

$$Ef = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua Utilizada (m}^3\text{)}}$$

Ecuación 6. Eficiencia del Agua

El en Cuadro 1 se muestran los diferentes sistemas de producción y la eficiencia de agua de acuerdo con el país que lo implementa (Salazar *et al.*, 2014); el cuadro representa los litros de agua que se necesitan por 1 kg de jitomate producido.

Cuadro 1. Eficiencia del uso del agua. Fuente: Salazar *et al.*, (2014)

Método de producción	País	L/kg
Campo abierto en general	Varios	100-300
Campo abierto, riego por goteo	Israel	60
Campo abierto	Almería, España	50-60
Invernaderos de plástico sin calefacción	Israel, España	30-40
Invernaderos de cristal con control avanzado y calefacción, enriquecimiento de CO <sub>2</sub>	Holanda	22
Igual que el anterior, con sistema hidropónico	Holanda	15
Igual que el anterior, con sistema hidropónico cerrado	Holanda	4

## 6.8 Origen y distribución del arándano

Los arándanos azul y rojo, blueberry y cranberry en inglés, respectivamente son especies conocidas en casi todo el mundo y asociadas con Norteamérica. Pertenecen al género *Vaccinium*, el cual incluye alrededor de 450 especies que están distribuidas en el mundo desde las regiones más frías cerca del Circulo Ártico hasta regiones templadas, del trópico y neotrópico. Especies silvestres de *Vaccinium* figuran en el folclor de países como China y del hemisferio norte; los usos alimenticios y medicinales han sido valorados por mucho tiempo por tribus nativas (Trehane, 2004).

Los arándanos azules son originarios de la parte Este de Norte América, su cultivo como un producto hortícola empezó en Estados Unidos, país que se mantiene como el principal productor y consumidor. Antes que los colonizadores llegaran al Nuevo Mundo, los nativos de Norteamérica utilizaban estos frutos silvestres en su dieta y se mantiene hasta la actualidad. Los arándanos del tipo “ojo de conejo” (*Vaccinium ashei Reade*) fueron los primeros en cultivarse a finales de siglo XIX en el Sur de Estados Unidos.

La producción del arándano tipo, arbusto alto del norte “ (*Vaccinium corymbosum* L.)” es un fenómeno del siglo XX originado con la investigación pionera de F. V. Coville y Elizabeth White en los comienzos de los 1900s. Inicialmente, la expansión de la producción de este cultivo fue lenta. Por 1930, diez años después de la introducción de la primera variedad mejorada, como resultado del programa de mejoramiento de Coville, había menos de 80 ha cultivadas de arándanos tipo arbusto alto; en el periodo de 1950 a 1965 hubo un incremento acelerado alcanzando 8100 ha en producción (Moore, 1994).

En los últimos 10 o 15 años con la liberación de las variedades del tipo arbusto alto del sur por la Universidad de Florida, las plantaciones de arándano se expandieron a áreas de latitudes más bajas, como La Florida, California, centro de Argentina y Chile (Bañados, 2009).

## 6.9 Características generales del arándano

Desde algunas décadas atrás a la fecha, el arándano ha sido reconocido extensamente por sus excelentes propiedades potencialmente benéficas para la salud gracias a su elevada actividad antioxidante (Prior *et al.*, 1998; Lee y Wrolstad, 2004).

Las propiedades de prevención de enfermedades degenerativas y propiedades anticancerígenas atribuibles al arándano, se sustentan en principios activos presentes en el fruto, tales como quercetina, taninos catéquicos, ácidos orgánicos, azúcar invertido, inositol, pectinas, carotenos, abundantes pigmentos antociánicos, proantocianidinas, flavonoides y vitaminas A y C (Smith *et al.*, 2000). Se ha descubierto incluso que el arándano posee tres veces más antioxidantes que las uvas rojas, lo cual contribuye a disminuir el riesgo de infartos en quienes los consumen habitualmente (Moraga, 2004).

## 6.10 Descripción botánica

**6.10.1 Raíces:** fibrosas y sin pelos absorbentes. Asociada con micorrizas que ayudan a la absorción de N (Yang *et al.*, 2002). Hay dos tipos de raíces: las de almacenamiento, gruesas y las finas, fibrosas de 50 micrómetros en diámetro encargadas de la absorción (Gough, 1994).

**6.10.2 Tallos:** los tallos de un año son llamados cañas. Estos tallos o cañas se originan de yemas localizadas sobre la corona, la cual es un área de transición entre los sistemas vasculares morfológicamente distintos de la raíz y de la caña (Gómez, 2010).

**6.10.3 Yemas vegetativas:** son pequeñas, 4 mm de longitud aproximadamente y contiene un ápice que se extiende de 80-40 micrómetros y 120 micrómetros de diámetro. Se ubican en el sector medio y basal del brote (o ramilla de invierno), y a partir de ellas se originaran los brotes normales de la siguiente temporada (Bañados, 2007).



**6.10.4 Yemas florales:** las yemas florales son de mayor tamaño que las vegetativas y tal como lo muestra la foto su identificación no es difícil. La diferenciación de estas yemas ocurre desde mediados del verano hasta fines del otoño y en algunas variedades y zonas de inviernos templados este fenómeno se puede prolongar por más tiempo (Bañados, 2007).

**6.10.5 Flor:** corola blanca o rosa compuesta de cinco pétalos, cinco sépalos fusionados. 8-10 estambres, un estilo, todo fusionado a un ovario ínfero. Tiene forma de campana, el pedúnculo está adherido al brote y a lo largo las flores forman la inflorescencia o racimo (Gómez, 2010)

**6.10.6 Fruto:** es una baya casi esférica, que dependiendo de la especie y cultivar puede variar en tamaño de 0,7-1,8 cm de diámetro y posee un color azul metálico. Contiene 5 lóculos que son delineados por una pared de células simples, lo que constituye el endocarpio. Las semillas perfectas tienden a agruparse en la parte superior del eje del lóculo, con las semillas imperfectas ocupando la porción basal de éste, sugiriendo que el número de tubos polínicos puede ser insuficiente para fertilizar todos los óvulos (Eck y Childers 1989).

**6.10.7 Poda:** en el cultivo del arándano se realizan dos tipos de poda: de formación y de producción, incluyendo esta última labor la eliminación de madera vieja, improductiva o enferma. En los primeros 2 años de plantación del arándano deben eliminarse las yemas florales de manera de favorecer el desarrollo y crecimiento de brotes vegetativos vigorosos (Rebolledo, 2013)

**6.10.8 Poda de formación:** los primeros dos años desde la plantación, la poda consiste básicamente en eliminar los crecimientos débiles desde su base y dejar aquellos brotes más vigorosos, y en eliminar las yemas florales para favorecer la formación de la planta (Bañados, 2007).

**6.10.9 Poda de producción:** consiste en eliminar todos los brotes que produjeron fruta la temporada anterior, cortando sobre el brote más vigoroso del año. Eliminar brotes cruzados, ramas viejas improductivas y enfermas, logrando así abrir la planta para dar acceso a la penetración de la luz y la aireación. Además se deberá cortar desde la base todos los brotes delgados que le quitan fuerza a la planta y producen fruta de bajo calibre. Aquellos brotes muy largos que con el peso de la fruta

caerán hacia el centro de la entre hilera serán despuntados sobre una yema ubicada hacia arriba (Rebolledo, 2013).

**6.10.10 Polinización:** según Rebolledo (2013) el arándano requiere obligatoriamente que sus flores sean polinizadas por insectos para obtener fruta de mayor peso y tamaño. Las flores del arándano aunque son hermafroditas presentan características que determinan una baja autopolinización:

- Racimos de flores colgantes, por lo que el polen se desprende y es incapaz de polinizar.
- Los estambres forman un círculo alrededor del pistilo hacia atrás.
- Sólo una pequeña sección del estigma es receptivo.

## **6.11 Sustratos**

Se considera como sustrato aquel espacio físico en donde se desarrolla la raíz de la planta; por consiguiente puede ser definido como aquel material o combinación de materiales utilizados para proveer aireación, retención de nutrientes, agua y soporte para el crecimiento de la planta (Quesada, 2005).

## **6.12 Propiedades de los sustratos**

### **6.12.1 Propiedades mecánicas**

Es imprescindible que el material mantenga estable su estructura a lo largo del ciclo de cultivo, sin degradarse. Asimismo es preferible que carezca de aristas que podrían lesionar las raíces y el cuello de las plantas. Un material excesivamente frágil puede fragmentarse en partículas finas que reducirán la porosidad y la capacidad de aireación, sobre todo en las capas del fondo del contenedor y esto limitará la supervivencia de las raíces en las zonas afectadas, disminuyendo el volumen aprovechable de sustrato (Martínez y Ferrerfábrega, 2009).

### **6.12.2 Propiedades físicas**

Las propiedades físicas constituyen el conjunto de características que describen el comportamiento del sustrato en relación con su porosidad. Estas propiedades determinan las fracciones sólida, líquida y gaseosa del sustrato y, por lo tanto, las cantidades de agua y de aire de los que va a disponer la planta (Martínez y Ferrerfábrega, 2009).

### **6.12.3 Propiedades químicas**

Desde este punto de vista se distinguen dos tipos de materiales:

- a) *Químicamente activos*: son los que tienen lugar intercambios de minerales entre el sustrato y la solución, por ejemplo los sustratos que llevan componentes orgánicos, en los que las sustancias húmicas tienden a retener cationes de la solución.
- b) *Químicamente inertes*: en los cuales los intercambios de materia entre las fases sólida y líquida deben ser nulos o muy reducidos. La inactividad química del sustrato garantiza que el equilibrio iónico de la solución nutriente no será alterado y por ello estos sustratos son los empleados para el cultivo hidropónico (Martínez y Ferrerfábrega, 2009).

### **6.12.4 Fibra de coco**

El sustrato de fibra de coco se origina del desfibramiento industrial del mesocarpio de las cáscaras de coco, obteniéndose un sustrato de estructura granular homogénea, con alta porosidad total (Taveira, 2005).

Posee elevada capacidad de aireación y retención de agua, baja densidad aparente, pH entre 5 y 6 y estructura física altamente estable. Su apariencia es similar a la turba, siendo posible distinguir gran cantidad de fibras de coco en el sustrato (Di Benedetto *et al.* 2000).

### **6.13 Nutrición mineral en las plantas.**

La Fertilidad del Suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

La fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo, se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas, entonces en un suelo fértil, no productivo.

La nutrición de cultivos, y la fertilización en particular, han mostrado una evolución creciente en los sistemas de producción de cultivos extensivos en los últimos 20 años. La siembra directa, las variedades e híbridos de alto potencial y el avance en las tecnologías de manejo de los cultivos y su protección, entre otros factores, han dado el marco apropiado para la inclusión de la nutrición en los sistemas de producción. Este crecimiento se evidencia al considerar la evolución del consumo aparente de nutrientes (García y González Sanjuan, 2013).

La producción de cultivos es un proceso directamente relacionado con el crecimiento y desarrollo vegetal, está en función del suelo, el clima y el manejo principalmente, y la manera de cómo estos factores influyen en la producción a través de mecanismos muy diversos y complejos. Como factores que determinan crecimiento y desarrollo de las plantas se consideran a todos aquellos agentes físicos, químicos y bióticos que pueden influenciar diferentes fases fenológicas de las plantas, desde la germinación hasta la cosecha. De todos los factores que influyen sobre el crecimiento y producción de las plantas cultivadas, la nutrición vegetal, sin lugar a duda es uno de los factores más determinantes. Esta disciplina de la fisiología vegetal y de la ciencia

del suelo se ocupa de estudiar los procesos involucrados en la absorción, translocación y asimilación de nutrimentos por las plantas superiores, así como de los factores que los afectan y su relación con la producción y calidad de las cosechas. (Alcántar *et al.*, 2016)

#### **6.14 Desarrollo histórico en México.**

La nutrición de cultivos inicia en nuestro país hace alrededor de seis décadas. No obstante, desde tiempos prehispánicos las culturas del sureste de la República Mexicana, como la Olmeca y la Maya, habían desarrollado prácticas de fertilización, sistemas de riego y drenaje, e incluso, una clasificación de suelos (Tovar, 1986). Sin embargo, fue hasta 1853 cuando se iniciaron los primeros ensayos de la investigación agropecuaria con la creación del Colegio Nacional de Agricultura. Las actividades de investigación realizadas en las estaciones experimentales se limitaron principalmente a la observación del comportamiento de nuevas variedades y especies de plantas. (Laird *et al.*, 1993).

En las condiciones actuales de México en las que ya no es posible incorporar nuevas tierras de cultivo a la agricultura y se requiere de incrementos anuales en la producción de alimentos, al menos para compensar el crecimiento de la población, es indispensable evolucionar hacia una agricultura de precisión altamente tecnificada, y a su vez sustentable, la cual debe tener sus cimientos en el uso de especies y variedades mejoradas de los principales cultivos, con un manejo óptimo de los insumos para la producción, en donde, sin lugar a dudas, el estudio de la nutrición de los cultivos juega un papel fundamental. (Alcántar *et al.*, 2016)

#### **6.15 Elementos esenciales**

Los elementos esenciales para las plantas son 17 incluyendo O, H y C provenientes de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> y aire, los demás corresponden a los nutrientes minerales, los cuales, según la cantidad absorbida por la planta, se clasifican en macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio,

magnesio, azufre, los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1 %, con base en la masa seca. Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca. Con estos elementos y la luz del Sol, las plantas son capaces de sintetizar todos los compuestos que necesitan. Sin embargo, otros elementos minerales, son considerados beneficiosos porque son esenciales para algunas especies de plantas bajo ciertas condiciones. (Rodríguez y Flórez , 2006)

### **6.16 Criterios de clasificación a los nutrientes.**

La división en macro y micronutrientes no tiene implicación fisiológica cualitativa, ya que todos ellos son igualmente esenciales. Las funciones de los macronutrientes están perfectamente definidas, no así la de algunos micronutrientes.

#### **6.16.1 Criterios establecidos para definir un elemento como esencial (*criterios de esencialidad de Arnon y Stout*).**

La composición mineral de las plantas, desarrolladas en diferentes suelos no puede ser utilizada como criterio para establecer si un nutriente es esencial. La técnica del elemento faltante, la purificación de los reactivos químicos y otros métodos hicieron posible una caracterización más precisa a este respecto.

Para el crecimiento normal de las plantas se consideran únicamente 17 elementos como esenciales, incluyendo al carbono, oxígeno e hidrógeno. De acuerdo con Arnon y Stout (1993), deben ser satisfechos los siguientes requisitos para que un elemento o nutrimento, sea considerado como esencial:

1. Con la ausencia del elemento en cuestión no es posible un desarrollo normal de la planta y esta es incapaz de completar su ciclo vital.
2. Los síntomas de deficiencia deben ser corregidos únicamente cuando la planta es abastecida con el elemento correspondiente, o sea que el elemento en cuestión no debe ser sustituido o remplazado totalmente por ningún otro elemento.

3. Las funciones sobre el metabolismo vegetal deben ser conocidas y debe ejercer una acción directa en la nutrición de la planta.
4. El elemento debe ser requerido por la mayoría de las plantas, y no solamente por uno o dos grupos taxonómicos. (Alcántar *et al.*,2016).

## **6.17 Nitrógeno**

### **6.17.1 Funciones del nitrógeno en las plantas.**

Las plantas tienen la capacidad de absorber las diversas formas de N inorgánico, principalmente el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).

Estas dos formas de nitrógeno representan solo una pequeña fracción de la cantidad total que del elemento que se encuentra en el planeta. Las cantidades presentes en el suelo, generalmente de origen orgánico, no son suficientes para abastecer satisfactoriamente los requerimientos de la cubierta vegetal de la superficie de la Tierra.

En los suelos bien aireados, el  $\text{NO}_3^-$  es la principal forma de N aprovechable, que invariablemente debe ser reducido hasta amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), antes de ser asimilado. En cuanto al  $\text{NH}_4^+$  absorbido, este es incorporado inmediatamente en aminoácidos. Esta asimilación de amonio origina una gran demanda de cetoácidos (esqueletos carbonados), lo que puede acarrear una disminución en el contenido de carbohidratos solubles y de reserva en las plantas que se abastecen de N exclusivamente en forma amoniacal. (Alcántar *et al.*, 2016).

### **6.17.2 Nitrógeno en el agua**

El contaminante más común identificado en el agua subterránea es nitrógeno disuelto en la forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Este contaminante se está extendiendo cada vez más debido a las actividades agrícolas y la eliminación de aguas residuales en o debajo de la superficie del suelo. Su presencia en concentraciones indeseables amenaza al gran acuífero en muchas partes del mundo. Aunque es la forma principal en la que se produce el nitrógeno en el agua subterránea, el nitrógeno disuelto también

se presenta en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), y nitrógeno orgánico. El nitrógeno orgánico es el nitrógeno que se incorpora en sustancias orgánicas (Freeze y Cherry, 1979).

El Nitrógeno puede encontrarse en el agua en tres maneras diferentes: como gas disuelto, en combinaciones inorgánicas y en combinaciones orgánicas. El nitrato, nitrito y el ion amonio son formas inorgánicas de nitrógeno que se encuentran en combinación con iones bivalentes y monovalentes. Por lo que se refiere al ion amonio, solamente a un pH superior a 9 se puede encontrar en concentraciones importantes (Pacheco *et al.*, 2002).

### **6.18 Límites permisibles de $\text{NO}_3$**

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 permite de  $10 \text{ mg L}^{-1}$  en forma de Nitrato ó  $50 \text{ mg L}^{-1}$  como Nitrógeno Amoniacal. La norma también establece el Nivel Máximo de Contaminante Aceptable para el Nitrito en  $1 \text{ mg L}^{-1}$ . Debido a que la toxicidad del Nitrato y el Nitrito son aditivas, se estableció el Nivel Estatal Máximo para la suma de los dos en  $10 \text{ mg L}^{-1}$  como Nitrógeno. No es seguro beber agua potable con cantidades de nitrato por encima del MCL, especialmente para los bebés de hasta 6 meses de edad y para mujeres embarazadas y lactantes. La Junta de Control considera al MCL (y otros valores de calidad de agua) como una base para decidir cuándo se deban llevar a cabo actividades regulatorias para protección del agua potable (Pública, 2000).



## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 Sitio de estudio.**

El presente estudio se realizó en el municipio de Acuitzio del Canje, en el Estado de Michoacán, se localiza en el centro del Estado, en las coordenadas 19°30" de latitud norte y en los 101°20" de longitud oeste, a una altura de 2,080 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte, este y oeste con Morelia; al este. Y sur con Madero; al sur, con Tacámbaro, y al suroeste, con Huiramba. Su distancia a la capital del Estado es de 35 km.

### **7.2 Identificación del sistema de producción**

Se realizó un recorrido en la huerta poder realizar la identificación del sistema de producción e identificar los componentes de la HH que lo integran, de esta manera conocer las diversas áreas y elementos de trabajo para realizar el presente trabajo de investigación.

### **7.3 Etapa fenológica**

En la presente investigación, el cultivo de arándano comprendió la etapa de cosecha y hasta la etapa de poda, con base en esto, se establecieron las variables que se deben contemplar para realizar la estimación de la Huella Hídrica.

### **7.4 Selección de plantas a evaluar**

Se seleccionó un macrotúnel representativo del cultivo del arándano, para medir el volumen de agua derivado del sistema de riego, consistente en riego por goteo con manguera autocompensada. El macrotúnel se separó en tres sectores: inicio (entrada de línea de riego), medio y final (salida de línea de riego), con la finalidad de medir el

volumen promedio de agua aplicado a cada bolsa del cultivo y poder extrapolar los resultados a todo el macrotúnel.

Las plantas que fueron seleccionadas contaban con características fisiológicas de importancia por ejemplo el vigor de la planta y la carga de fruta con la que contaba.

## **7.5 Riego**

El riego aplicado diariamente en el predio comprendía de 7 riegos con intervalos de una hora entre cada riego y en el cual 5 riegos eran con solución nutritiva; en el cual fueron los mismos riegos utilizados para las tomas de muestras.

### **7.5.1 Medición del volumen de riego y escurrimiento por planta**

Se utilizaron como materiales vasos de plástico con capacidad de 12 oz (354 mL) para la captación del gasto de agua en las boquillas del sistema de riego en las plantas seleccionadas. Para captar el escurrimiento, se utilizaron charolas de plástico con capacidad de 10 litros. Los volúmenes de riego y escurrimiento se midieron con base en su peso utilizando una balanza marca RHINO modelo BAPRE-3 con una capacidad máxima de 3 kg.

Las muestras se obtuvieron durante el periodo de riego del cultivo, consistente en una secuencia de cinco riegos por día y una duración de cinco minutos cada uno. Los periodos de tiempo entre riego y riego fueron de una hora aplicados por presión mediante una bomba de 2 Hp y distribuido a través de las mangueras para riego por goteo.

## **7.6 Periodo de estudio**

El muestreo se realizó durante los primeros días del mes de enero del 2020 y hasta la etapa de poda del cultivo, realizada en la primera semana del mes de marzo. Con los resultados obtenidos se realizó una extrapolación para el ciclo anual del cultivo.

## **7.7 Producción**

La producción en toneladas de arándano fue calculada en función de la densidad de población de 9,000 plantas. La producción se dividió entre  $170 \pm 5g$  para obtener el número de cajas de arándano que se producen en el rancho y poder obtener la cantidad de agua requerida para producir esos 170 gramos de frutos.

## **7.8 Estimación de la Huella Hídrica**

La Huella Hídrica se estimó solo con los componentes del Agua Azul (AA) y Agua Gris (AG), contemplando que el trabajo de investigación se realizó en un sistema de agricultura controlada de acuerdo con modelo propuesto por Chapagain y Orr (2009)

## **7.9 Agua Virtual en cultivo de arándano en Michoacán**

El modelo general para estimar el agua virtual y los componentes de la huella hídrica en el arándano; se basaron en el esquema general propuesto por Chapagain & Orr (2009), para cultivos de jitomate en invernadero de varias regiones estudiadas en España (Figura 1).

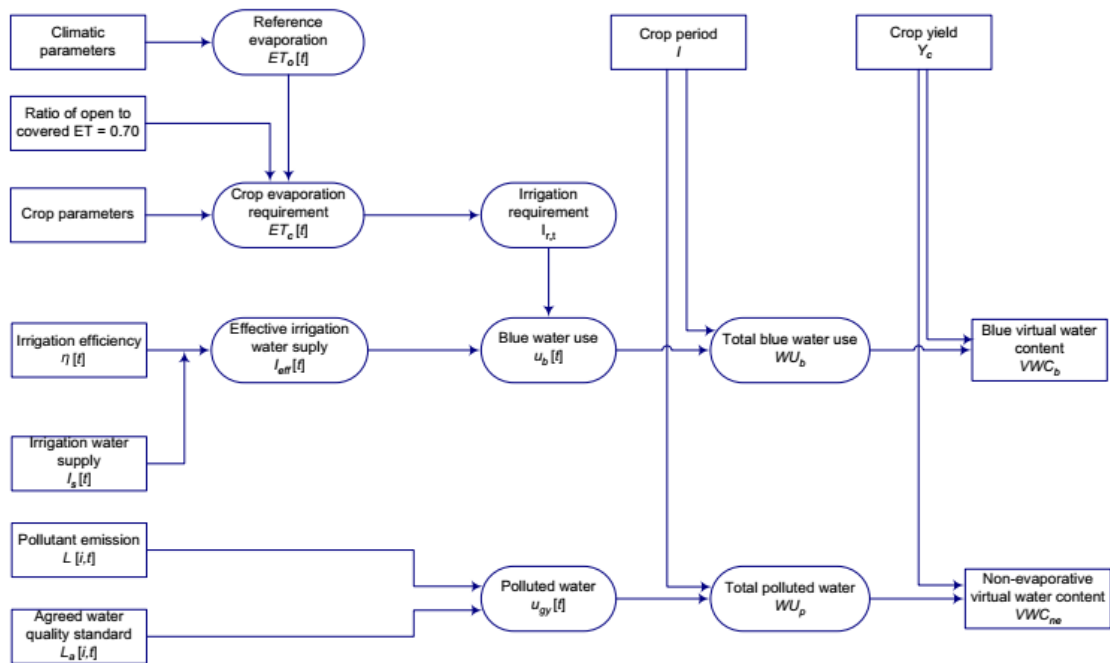


Figura 1 Diagrama para estimar agua virtual en condiciones de invernadero (Chapagain & Orr, 2009)

### 7.10 Huella verde

La evaluación de agua verde no se consideró en esta investigación por que el cultivo evaluado se encuentra en un sistema controlado (macrotúnel) y en hidroponía, por lo que el agua pluvial no entra en el sistema de manera directa, sino como agua azul (Chapagain & Orr, 2009).

### 7.11 Huella Azul

La medición del agua azul se obtuvo a partir de los riegos durante el periodo de estudio; además del volumen de agua retenida en la biomasa de la planta y del rendimiento de la producción total de la huerta de arándano.

### 7.12 Huella Gris

Para la estimación del agua gris se utilizaron las mediciones del agua de drenaje de las plantas evaluadas y la cantidad de agua requerida para la dilución del nitrato derivado del fertilizante.

Para este componente se utilizó la ecuación propuesta por Caro (2014), en la que propone una modificación para un sistema hidropónico.

$$WF_{\text{gris}} = \frac{\left(\frac{C_{\text{sol}}}{C_{\text{max}}} - 1\right) \times V_{\text{sol}}}{Y}$$

Ecuación 7. Cálculo para Huella Gris

De acuerdo con Caro (2014) para obtener  $C_{\text{máx}}$  se consideraron los parámetros presentes en el estándar de calidad de agua para riego de la norma NOM-127-SSA1-1994. Estos parámetros fueron comparados con los resultados arrojados con la toma de muestra del agua de fertirriego que se aplica  $C_{\text{sol}}$ . Tras obtener la diferencia, se calculó el volumen de agua necesario para diluir la solución nutritiva y llevar las concentraciones de  $C_{\text{sol}}$  a  $C_{\text{max}}$ , ambas expresadas en  $\text{mg L}^{-1}$ .  $V_{\text{sol}}$  representa el volumen de solución nutritiva necesario para obtener 1 ton de producto, expresado en  $\text{m}^3$ .  $Y$  corresponde al rendimiento del cultivo (t).

### 7.13 Determinación de límites permisibles del $\text{NO}_3$

La determinación del límite permisible del  $\text{NO}_3$  se midió su contenido en el agua del escurrimiento que fue colectado de las bolsas de cultivo de las plantas, mediante un ionómetro marca Horiba modelo LAQUAtwin que permite medir las muestras *in situ* y en un rango de 6.2 a 9900  $\text{mg/L}$ .

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Establecimiento y evaluación del cultivo.

El periodo del trabajo de investigación inicio el 10 enero del 2020, con la selección del material que se evaluó (secciones del macro túnel, plantas a evaluar y material necesario para la evaluación). Las plantas con las que se trabajó tenían tres años de haber sido sembradas. Se presenta en la Figura 2, el esquema seleccionado para la medición de las plantas seleccionadas al interior del macrotúnel.

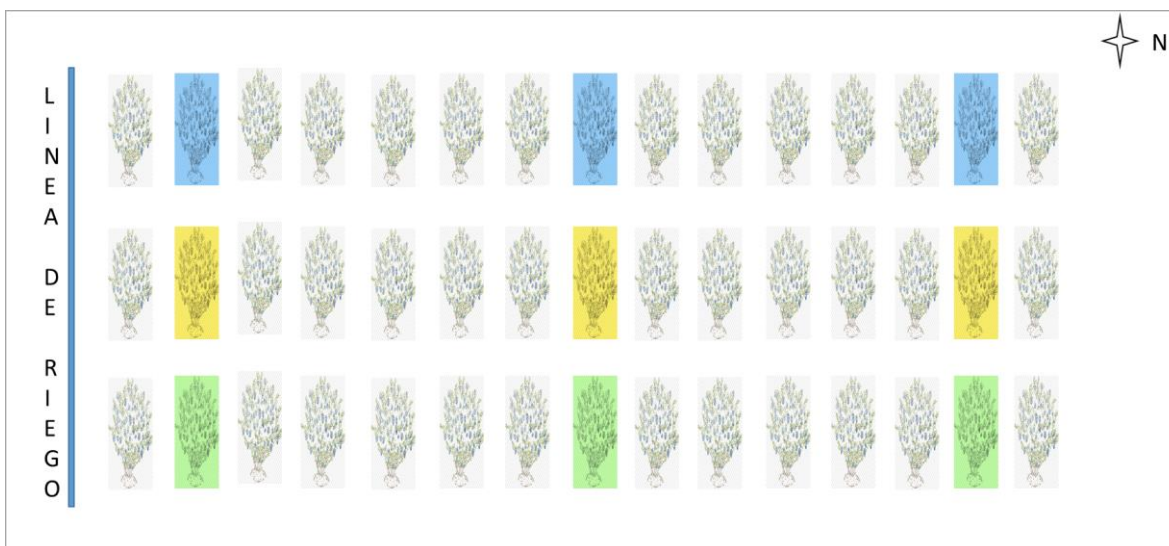


Figura 2 Distribución de plantas seleccionadas en macro túnel.

Se realizaron 14 días de toma muestras con 5 repeticiones para cada una de las variables, durante los riegos de 5 minutos. En la Figura 3 se muestran plantas seleccionadas para los muestreos.



Figura 3 Plantas seleccionadas para la investigación

## 8.2 Rendimiento del cultivo

El rendimiento estimado del cultivo de arándanos de acuerdo con la recolección de datos fue de 950 gr/planta, contemplando que en el predio establecido se cuenta con una densidad de 9000 plantas de arándano sembradas en una superficie de 2 hectáreas; así obteniendo un rendimiento de 4.27 t/ha de arándano.

## 8.3 HUELLA HIDRICA

### 8.3.1 Huella Azul

Obtenido el uso de agua para la producción del cultivo y su respectivo rendimiento, se calcula la Huella Azul con la utilización de las ecuaciones 3 y 4, así poder tener una estimación del gasto de agua para la producción del cultivo arándano representado en los resultados del Cuadro 2.

Cuadro 2. Estimación de la Huella Azul

Consumo de Agua ( $ET_{azul}$ ) L	Producción Total (P) t	Uso de Agua del Cultivo ( $CWU_{azul}$ ) $m^3$	Huella Azul ( $WF_{proc. azul}$ ) $m^3 t^{-1}$
236050.71	8.55	351.53	41.11

$ET_{azul}$ : Evapotranspiración del cultivo.  $CWU_{azul}$ : componente azul en el uso de agua de los cultivos (*Crop Water Use*).  $WF_{proc. azul}$ : componente azul de la huella hídrica del proceso de crecimiento de un cultivo. Para mayor detalle ver Anexo 2. Tabla 2.

Los resultados presentados en el Cuadro 2 describen el gasto de agua para todo el ciclo del cultivo en un tiempo de 365 días y una secuencia de 5 riegos por día. Para regar una población de 9000 plantas dentro del predio de producción de arándanos en el ciclo actual, se encontró que la Huella Azul ( $WF_{proc. azul}$ ) requerida para producir una tonelada de fruta de arándano fue de  $41.11 m^3 t^{-1}$ , convirtiendo a un gasto de 39.05 L de agua para producir un kg de arándanos de acuerdo a la densidad de población del predio.

De acuerdo a Caro (2014) la estimación de la HA en lechuga baby el consumo de agua para producir una tonelada es de  $16.96 m^3$  utilizando un sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), comparando al cultivo de arándanos, el ciclo de la lechuga baby tiene un tiempo de producción de 40 días, comprendiendo que durante el ciclo de producción del cultivo de arándanos se establecen un aproximado de 9 ciclos del cultivo de lechuga baby, reflejando que se obtiene mayor consumo de HA, con una totalidad de



152.64 m<sup>3</sup> del consumo de la HA en los 9 ciclos que se pueden establecer en la duración de un ciclo del cultivo de arándanos.

### 8.3.2 Límites permisibles

Los cálculos obtenidos para conocer los límites permisibles en el agua de riego tuvieron como base a la NOM-127-SSA1-1994, y las mediciones de las concentraciones de NO<sub>3</sub> derivadas de la nutrición del cultivo de arándanos. Los datos evaluados se representan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Límites permisibles de NO<sub>3</sub>.

Parámetro	Unidad	Concentración de NO <sub>3</sub> en el riego (escurrimiento)	Límites permisibles
NO <sub>3</sub>	mg L <sup>-1</sup>	34.78	10

Ver Anexo 3 y 4.

Los resultados sugieren que en el agua de riego las concentraciones de acuerdo de nitratos superan el límite máximo permisible según la NOM-127-SSA1-1994 con una diferencia de 24.78 mg L<sup>-1</sup>. Como referencia para comparación, en un estudio de calidad de agua en Tabasco. Borbolla *et al.* (2003) mencionan que obtuvieron una concentración de NO<sub>3</sub> de 0.42 mg L<sup>-1</sup>; que de acuerdo a la norma oficial se considera como riesgo para el agua potable de la población, ya que rebasa el límite permisible de nitrógeno en el agua.

Para el presente estudio, el agua de riego por escurrimiento es considerado como un contaminante y no puede ser utilizada para consumo humano al sobrepasar 24.78 mg L<sup>-1</sup> el límite permitido para ser potable. Varios factores podrían explicar la contaminación son una sobrefertilización y el mal aprovechamiento de los NO<sub>3</sub> la planta, esto basado en el uso fertilizantes con nitratos para la solución nutritiva de las plantas del predio.

### 8.3.3 Huella Gris

La cantidad de agua que se requiere para diluir un contaminante, en este caso el NO<sub>3</sub>, y alcanzar los valores sugeridos por la NOM-127-SSA1-1994, se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 3 Estimación de la Huella Gris.

Consumo de Agua ( $V_{sol}$ )	Producción Total ( $Y$ )	Factor de concentración de $NO_3$ (( $C_{sol}$ )/( $C_{max}$ ) <sup>-1</sup> )	Huella Gris ( $WF_{gris}$ )	Drenaje total
$m^3$	t		$m^3$	$m^3$
73.00	8.55	2.48	21.16	359.58

Ver Anexo 3 y 4.

Los cálculos se realizaron con base en los datos obtenidos, para  $V_{sol}$  ( $73m^3$ ), este valor es la cantidad de agua requerida para diluir los fertilizantes para el ciclo del cultivo. Con el resultado de la tercera columna el Cuadro 4, factor de concentración de  $NO_3$  (2.48) y la producción total (8.55 t), se pudo obtener el resultado de la Huella Gris que corresponde a  $21.16 m^3$  del total del predio.

#### 8.4 Huella Hídrica calculada

Obtenida la Huella Azul y Gris se calcula la Huella Hídrica total para el cultivo de arándanos (Cuadro 5), contemplando que la investigación se realizó en un sistema controlado de macro túnel con una población de 9000 plantas en todo el predio.

Cuadro 4. Estimación de Huella Hídrica.

Sistema	Huella Azul	Huella Gris	Huella Hídrica
	$m^3 t^{-1}$	$m^3 t^{-1}$	$m^3 t^{-1}$
Macrotúnel	41.11	21.16	62.27

Como se observa en el Cuadro 5, se obtuvo una Huella Hídrica de  $62.27 m^3 t^{-1}$  para el cultivo de arándano estudiado. También se observa que la Huella Azul tiene

una diferencia de  $19.95 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  con respecto a la Huella Gris, que representa una diferencia del 32.03 %, entre la Huella Azul y la Huella Gris.

Como se puede apreciar, se requieren de  $62.27 \text{ m}^3$  de agua para producir una tonelada de arándano, esto es equivalente a  $62.27 \text{ L/kg}$ . Utilizando otras unidades más comprensibles, podemos decir que cada empaque o caja de 6 oz ( $170 \pm 5 \text{ g}$ ) que llega al consumidor en mostrador, tiene una huella hídrica de campo de 10.6 Litros. Resulta pertinente mencionar que es necesario en un futuro ampliar el cálculo de otros componentes de la huella hídrica para tener una aproximación completa del sistema.

De acuerdo con Osorio (2013) la huella azul en la región de Araucanía, Chile, cuenta con un valor de  $250 \text{ L/kg}$  de arándano producido; a diferencia de México, los rendimientos de referencia son de  $15 \text{ t/ha}$  en donde se observa el incremento de la HA de acuerdo con la investigación realizada.

En comparación con la huella hídrica del cultivo de fresa y de acuerdo con García *et al.* (2012) el valor promedio de consumo de agua en una planta de fresa es  $0.9 \text{ m}^3/\text{kg}$  en la región de Huelva, España. El valor de la HH en fresa corresponde con una densidad de plantas de  $68,800 \text{ plantas/ha}$ , dicho valor engloba todas las prácticas donde se utilice agua para poder establecer el cultivo de fresa en la región.

Mekonnen y Hoekstra (2010) señalan que el 86,5 % del agua dulce consumida en la producción de cultivos a nivel global corresponde a agua verde, tanto en la agricultura de secano como de regadío. Sin embargo, la costa oeste de América del Sur, ocupada por Perú y Chile, representa una de las zonas cuya huella azul tiene mayor participación en la huella total que la huella verde, situación que ocurre también en la parte occidental de los EE.UU., en el sur de Europa, norte de África, la Península Arábiga, Asia Central, Pakistán y norte de la India, el noreste de China y partes de Australia.

Los resultados sugieren que el porcentaje aportado por la Huella Azul es del 66.02 % de la HH total; por el contrario, la Huella Gris aporta el 33.97 % de la HH total del cultivo arándano (Figura 4).

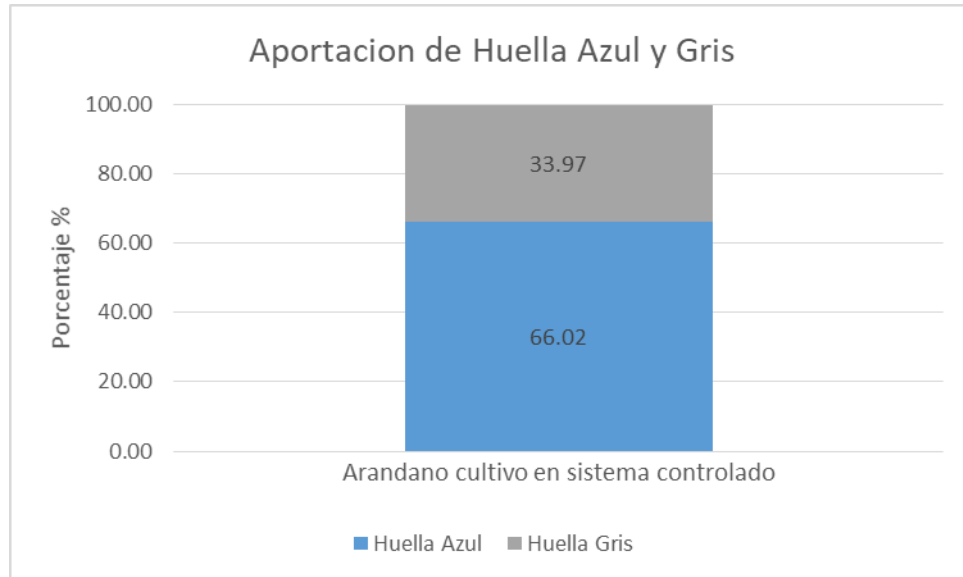


Figura 4 Aportación de la HA y HG en el cultivo de Arándanos

La Huella Hídrica Total es el cálculo de la suma de las Huellas de cada proceso productivo del cultivo en la cual es necesaria obtener un producto o resultado, de acuerdo con Hoekstra *et al.* (2011) el manual de la WFN no entrega un método estandarizado que indique variables como los límites de la cadena productiva y el periodo de tiempo a analizar, sino que constituye una guía metodológica con ajustes y alcances de acuerdo con el área productiva a tratar.

En cuanto a la sustentabilidad de la huella estimada, Hoekstra *et al.* (2011) señalan que las huellas verde, azul y gris de un proceso no son sustentables en sí mismas cuando éstas pueden ser eliminadas o reducidas con tecnología disponible y a un costo social aceptable. Debido a la eficiencia de los sistemas hidropónicos en el suministro de agua, donde se puede considerar la evaporación igual a cero y la transpiración como irreductible, es que se puede suponer la huella azul como una huella sustentable y que no puede ser reducida.

Hoekstra *et al.* (2011), indican que la huella gris siempre es considerable como no sustentable dentro de un proceso. Sin embargo, se debe analizar la sustentabilidad de la aplicación de fertilizantes en la solución nutritiva.

Una posible medida para disminuir el valor de la huella gris, además de aumentar la precisión en la dosis de fertilizante, es el uso de hidroponía orgánica. Estos sistemas de producción, en donde la solución nutritiva se modifica mediante fertilización orgánica, han logrado disminuir problemas de contaminación (Rinaldi *et al.*, 2007).

En la presente investigación se recabaron datos de acuerdo con la aplicación de agua mediante el sistema de riego establecido en el predio evaluado con una superficie de dos hectáreas, dónde se evaluó la eficiencia de la aplicación de los riegos, los resultados obtenidos se expresan en el Cuadro 6.

Cuadro 5. Eficiencia de riego aplicado.

Riego aplicado	Drenaje de agua	Agua potencialmente evapotranspirable	Eficiencia de riego
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%
595.63	359.58	236.05	39.63

Como se presenta en el Cuadro 6 la eficiencia del riego es de un 39.63 % lo que significa que el drenaje de los riegos es un volumen mayor de agua que el que se queda retenido en la planta.

De acuerdo con MINAGRI (2015), la eficiencia de aplicación de riego es la cantidad de agua útil para el cultivo que queda en el suelo después de un riego, en relación al total del agua aplicada. El valor de la eficiencia se verá afectada por la superficie de la parcela, para lo cual tendrá una relación de proporcionalidad. Consultando a MINAGRI (2015) explica que el sistema de riego por goteo tiene una

eficiencia entre el 90 a 95 % en sus aplicaciones, y en la presente investigación, se observó que la eficiencia de aplicación del riego es baja, comparando con el agua que drena el sistema de riego se obtiene una eficiencia del 39.63 % el resto se acumula y continuamente se va drenando en el sustrato en el que está establecido la planta de arándano.

Finalmente se concluye que el indicador de la Huella Hídrica es una herramienta de gran apoyo para estimar el consumo de agua en la producción de arándano bajo un sistema controlado considerando ciertas aplicaciones a la metodología y estableciendo bien los tiempos en los que se va realizar la investigación, dicha investigación se realizó en época de cosecha por lo cual comparto el hecho que para obtener la Huella Hídrica exacta del cultivo de arándanos es evaluar el ciclo completo del cultivo en el cual tendría inicio desde la etapa de trasplante o poda hasta la etapa de cosecha y evaluar los diferentes riegos y las aplicaciones de fertilizantes foliares, insecticidas o algún producto que tenga que ser diluido con agua.

## 9. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se demostró que se evaluó con el cultivo de arándano las Huellas Azul y Gris.

La huella hídrica a nivel de campo del arándano, sugiere que se necesitan 62.27 m<sup>3</sup> de agua para producir una tonelada de arándano, esto es equivalente a 62.27 L por kilogramo, es decir, que por cada empaque o caja de 6 oz (170 ± 5 g) de arándano, se utilizaron en campo aproximadamente 10.6 litros de agua. Por lo anterior, es importante ampliar en un futuro las mediciones de la HH contemplando las fases de manufacturación, transporte y comercialización para tener la huella hídrica total para evaluar la sustentabilidad del sistema.

Realizando una comparación con otros cultivos, el predio evaluado tiene un consumo de agua menor al de fresa o lechuga tomando en cuenta que el ciclo productivo de estos dos cultivos es de menor tiempo que el de arándano. El mayor tiempo de producción del cultivo de arándano es un factor determinante en el aumento del consumo de agua para su producción.

Aunado a lo anterior el consumo de agua en la producción de arándano en México es menor en comparación con otros países; la diferencia del gasto de agua se debe a los rendimientos obtenidos en los diferentes sistemas de producción y regiones en las que se produce en cada país, estos factores se deben considerar al momento de evaluar la eficiencia de la aplicación de los riegos para el cultivo.

Con respecto a la eficiencia de riego en el predio evaluado se identificó que es solo 39.63%. Este valor es bajo considerando que según el sistema establecido para la irrigación del cultivo su eficiencia oscilar entre el 90-95 %, por lo tanto, es importante realizar estudios con la finalidad de aumentar la eficiencia del sistema y optimizar la aplicación de agua para cada riego.

Es importante subrayar que los resultados obtenidos durante la investigación, son incompletos, por el hecho de que se omitieron una serie de procesos con el consumo de agua, pero que no contribuyen significativamente. Esta investigación es una primera aproximación al estudio de la huella hídrica de *berries* en Michoacán y en México y puede ser el punto de partida futuras investigaciones.

El modelo empleado para la estimación de la huella hídrica, es una adaptación viable, el cual podría tener modificaciones y actualizaciones en las formulas y ecuaciones utilizadas para que en un futuro se pueda implementar en los sistemas protegidos con hidroponía.

La aplicación de este modelo a futuro puede aportar un desarrollo hortícola sustentable mejorando el aprovechamiento y optimizando el uso de los recursos hídricos de nuestro país.



## 10. LITERATURA CITADA

- Aceves, N. E. (1988). Uso y manejo del agua en la agricultura mexicana. Comercio Exterior, 570-577.
- Alcántar González, G. A., Trejo Téllez, L. I., & Gómez Merino, F. C. (2016). Nutrición de Cultivos. Estado de México: Biblioteca Básica de Agricultura.
- Allan, J. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. En J. Allan. Groundwater.
- Arreguín-Cortés, F. I. (1991) Uso eficiente del agua, Ingeniería Hidráulica en México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Pag. 9-22
- Bañados, M.P. 2007. Poda en verde en arándanos. Revista Agronómica Forestal. UC 31:16-19.
- Bañados, M.P. 2009. Expanding blueberry production into non-traditional production areas: northern Chile and Argentina, Mexico and Spain. Proc. IXth IS on *Vaccinium*. Eds.: K.E. Hummer et al. Acta Hort. 810. ISHS.
- Borbolla, S. M., de laCruz, V. L., Piña, G. O., de la Fuente, G. J., Garrido, P. S. (2003). Calidad del Agua en Tabasco. Salud en Tabasco. 170-177.
- Caro, R. L. (2014). Memoria de Título. Estimación de la Huella Hídrica de la producción de lechugas "BABY" bajo el sistema hidropónico. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Di Benedetto, A., Molinari, J., Boshi, C., Klasman, R., Benedicto, D. (2000). Adaptación de cuatro especies florales anuales a diferentes sustratos de crecimiento. Agro sur 28, 69-76.
- Eck, P. and Childers, N. (1989). Blueberry Culture. Rutgers University Press. Nex Brunswick 235 p.
- FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua. Roma: FAO.
- Fernández, R., Camacho, F. (2005). Eficiencia en el uso del agua. Revista Viveros. Universidad de Almería en España, 86-89.

- Freeze, R. A., Cherry, J. A. (1979). Groundwater. En R. A. Freeze, & J. A. Cherry, Groundwater (págs. 413-416). New Jersey, EUA: Prentice - Hall, Inc.
- García, F. O, González Sanjuan, M. F. (2013). La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes. Obtenido de La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: [http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/6E55A4956F44419585257B3400548C6E/\\$FILE/2.pdf](http://www.ipni.net/publication/ialacs.nsf/0/6E55A4956F44419585257B3400548C6E/$FILE/2.pdf)
- García M.J., Montesinos B.P., Rodríguez D.J.A., Camacho E. & Hess T. (2012). Hacia las Sostenibilidad en el cultivo de fresa: Demanda real de riego y posibilidades de mejora: <http://www.researchgate.net/publication/285776870>
- Gómez, M. M. (2010). Universidad Autónoma de Chapingo. La poda en la productividad de arándano (*Vaccinium* spp.) en Michoacán. Texcoco, Edo. México, México.
- Gough, R.E. (1994). The highbush blueberry and its management. The Haworth Press, Inc. Binghamton, NY. 272 p.
- Haddadin, M. J. (2003). Exogenous water: A conduit to globalization of water resources. En A. Y. Hoekstra, VIRTUAL WATER TRADE (pág. 13). The Netherlands: IHE DELFT.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M. (2011). The Water Footprint Assesment Manual: setting the global standard Washington, DC.: Earthscan.
- Hoekstra, Y. A. (2003). Virtual wáter: An introduction. En Y. A. Hoekstra, VIRTUAL WATER TRADE Proceedings of the International Expert Meeting (pág. 13). The Netherlands: IHE DELFT.
- Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. 1st Edition. Oxford, UK: Willey-Blackwell. 232p

- Laird, R. J., A. Turrent F. V. Volke H. J. I. Cortés F. (1993). La investigación en productividad de Agrosistemas. Cuadernos de Edafología No. 18. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- LINEBERRY, R.A.; BURKHART L. (1943). Nutrient deficiencies in the strawberry leaf and fruit. *Plant Physiol.* 18: 324-333.
- Martinez, F. P., & Ferrerfábrega, R. D. (2009). Sustratos para el cultivo sin suelo. Sustratos para el cultivo son suelo. Materiales, propiedades y manejo. Valencia, España.
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2011), National Water Footprint Accounts: the Green, Blue and Grey Water Footprint of Production and Consumption, Value of Water Research Report Series, Volume 1: Main Report (50).
- Osorio U., Alfonso (ed). (2013). Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos. 211 p. Serie Actas N° 50. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, Chile.
- Pacheco, Á. J., Pat, C. R., & Cabrera, S. A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería.* 73-81.
- Pública, S. d. (2000). Modificación a la norma oficial mexicana nom-127-ssa1-1994, salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Distrito Federal, México: Diario Oficial de la Federación.
- Quesada, R. G. (2005). Conociendo los sustratos para sembrar. Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Rebolledo, K. C. (2013,). Manual de arándano. Poda y polinización de arándano. Chillán, Chile: Trama Impresores S.A.

- Riego, M. d. (2015). Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego. Lima, Perú: Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego.
- Rinaldi, M.; G. Convertini and A. Elia. (2007). Organic and mineral nitrogen fertilization for processing tomato in Southern Italy. *Acta Horticulturae* 758:241-248.
- Rodríguez, M, S. & Flórez. R., V. (2013). Elementos esenciales y beneficiosos. En *Ferti-riego: tecnología y programación en agroplasticultura*. Sitio web: <https://core.ac.uk/download/pdf/143458034.pdf>
- Salazar, M. R., Rojano, A. A., & López, C. I. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 177-183.
- Sellés, S., Osorio, U., Ferreyra, E., Antúnez, B., Pérez, R., & Riquelme, S. (2013). La Huella Hídrica. En U. A. Osorio, *Determinación de la huella del agua y estrategias de manejo de recursos hídricos*. (págs. 17-18). La Serena, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Intihuasi.
- Taveira, A. (2005). Fibra de coco: Una nueva alternativa para la formación de plantas. *Revista Brasileira de reproducción de plantas* , 275-277.
- Tovar S., J. L. (1986). El departamento de suelos de la UACh, Chapingo, México. Mimeógrafo. Chapingo, México.
- Trehane, J. (2004). *Blueberries, Cranberries and other Vacciniums*. Timber Press, Portland y Cambridge. 256p.
- Vázquez del Mercado, A. R., & Lambarri, B. J. (2017). Huella hídrica en México: Análisis y perspectiva. En A. R. Vázquez del Mercado, B. J. Lambarri, *Huella hídrica en México: Análisis y perspectiva* (pág. 13). Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Vernaza, E. E. (2014). La Huella Hídrica y el Agua Virtual de las Rosas: como el uso, consumo y aprovechamiento del agua tiene impacto dentro de la cadena de

suministro de la industria florícola. . Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de Ingeniera Industrial. Quito, Quito, Ecuador.

Villalobos, A. V., Garcia, M., & Ávila, F. (2017). El agua para la agricultura de las américas. En F. C. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, el agua para la agricultura de las américas (pág. 1). Ciudad de México: Biblioteca Básica de Agricultura.

Yang W.Q., Goulart B.L., Demchak K., Li Y., 2002. Interactive effects of mycorrhizal inoculation and organic soil amendments on nitrogen acquisition and growth of highbush blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127, 742–748.

Zimmer, D., & Renault, D. (2003). Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results . En A. Y. Hoekstra, VIRTUAL WATER TRADE (pág. 93). The Netherlands |: IHE DELFT

## 11. ANEXOS

**Anexo 1. Tabla 1. Toma de muestras del riego**

Fecha	Riego total del día (mL)	Drenaje total(mL)
14/01/2020	1891.78	1191.67
15/01/2020	1602.56	753.67
17/01/2020	1501.89	657.33
22/01/2020	1708.89	1154.67
23/01/2020	1722.78	1549.00
24/01/2020	1815.67	1143.67
27/01/2020	1726.33	962.78
28/01/2020	1524.67	767.78
30/01/2020	1485.78	818.33
03/02/2020	1594	987.78
04/02/2020	1531.89	744.78
06/02/2020	1595	1395.33
10/02/2020	1671.33	894
13/02/2020	1473.67	771.44
Total en ml	22846.22	13792.22
Promedio de riego diario (ml)	1631.87	985.16
Riego total (ml)	1631873.02	985158.73
ciclo del cultivo (ml)	595633650.79	359582936.51
Total en L	595633.65	359582.94
Total en m <sup>3</sup>	595.63	359.58

En el anexo 1 se muestra las fechas en la que se recabaron los datos tomando en cuenta entrada de agua mediante el sistema de riego y la salida de agua con la captación del drenado por parte de la planta.

**Anexo 2. Tabla 2. Agua Aplicada al Cultivo.**

Riego aplicado	Drenaje de agua	Agua aprovechada
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
595.63	359.58	236.05

Anexo 2. Señala el agua que se aplica para el cultivo de arándano mediante el sistema de riego por goteo, en el cual los datos de la tabla se emplearon en la ecuación 4 utilizada para el cálculo de la Huella Azul.

$$CWU_{azul} = 10 * \sum_{d=1}^{lgp} ET_{azul}(Volumen)$$

10: factor de profundidad de agua en m<sup>3</sup>

*Lgp*: largo periodo productivo.

*ET azul*: Evapotranspiración del cultivo.

*ET azul*=963.1

Aplicando la ecuación para encontrar el resultado fue:

$$CWU_{azul} = 10 * \sum_{d=1}^{365} 963.1$$

$$CWU_{azul} = 10 * 351,531.5$$

$$CWU_{azul} = 3,515315 \text{ litros}$$

$$CWU_{azul} = 351.5315 \text{ m}^3$$



**Anexo 3. Cuadro 1. Límites permisibles en el agua de la NOM-127-SSA1-1994.**

CARACTERISTICAS	LÍMITE PERMISIBLE
Color	c 0-20 Unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Turbiedad	0-5 Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método
Cloro residual libre	0,2-1,50 mg/L
Cloruros (como cl)	0-250,00 mg/L
Dureza total (como caco)	0-500,00 mg/L
Nitratos (como N)	0-10,00 mg/L
pH (potencial de hidrogeno) en unidades de pH	6,5-8,5 mg/L
Sólidos disueltos totales	0-1000,00 mg/L
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> )	0-400,00 mg/L

Fuente: Secretaria de Salud. (2000)

El Anexo 3 demuestra los límites permisibles obtenidos en un estudio de agua potable en los cuales evaluaron el contenido de diferentes elementos.

**Anexo 4. Tabla 3. Concentración promedio de muestra de NO<sub>3</sub> en muestras de agua escurrida luego del fertirriego**

Fecha: 26/02/20		Concentración de NO <sub>3</sub>								
	Fila 1			Fila 2			Fila 3			
Gotero	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	promedio
ppm	24	25	19	24	14	25	70	70	64	37.22
Fecha: 03/03/20		Concentración de NO <sub>3</sub>								
ppm	Fila 1			Fila 2			Fila 3			
Gotero	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	promedio
ppm	27	30	22	24	20	24	50	40	54	32.33
<b>promedio Total</b>										<b>34.78</b>

El Anexo 4 presenta los resultados obtenidos de acuerdo con las mediciones que se realizaron con el Ionómetro para NO<sub>3</sub> de la marca Horiba modelo LAQUA twin, dichos resultados fueron utilizados para el cálculo de la Huella Gris, aplicando la ecuación 7.

$$WF_{gris} = \frac{\left(\frac{34.78}{10} - 1\right) \times 73}{8.55}$$

$$WF_{gris} = \frac{(3.478 - 1) \times 73}{8.55}$$

$$WF_{gris} = \frac{2.478 \times 73}{8.55}$$

$$WF_{gris} = \frac{180.894}{8.55}$$

Como resultado obtenido de la formula el valor de CWU gris = 21.1571 m<sup>3</sup>

### Anexo 5. Eficiencia de aplicación de agua.

Riego total	Drenaje total	Agua en plantas	Drenaje total	Efi de riego total
m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	%	%
595.63	359.58	236.06	60.37	39.63

Anexo 5. Demuestra el riego y drenaje total, realizando una estimación de acuerdo con los riegos establecidos y las repeticiones que se aplican diariamente.